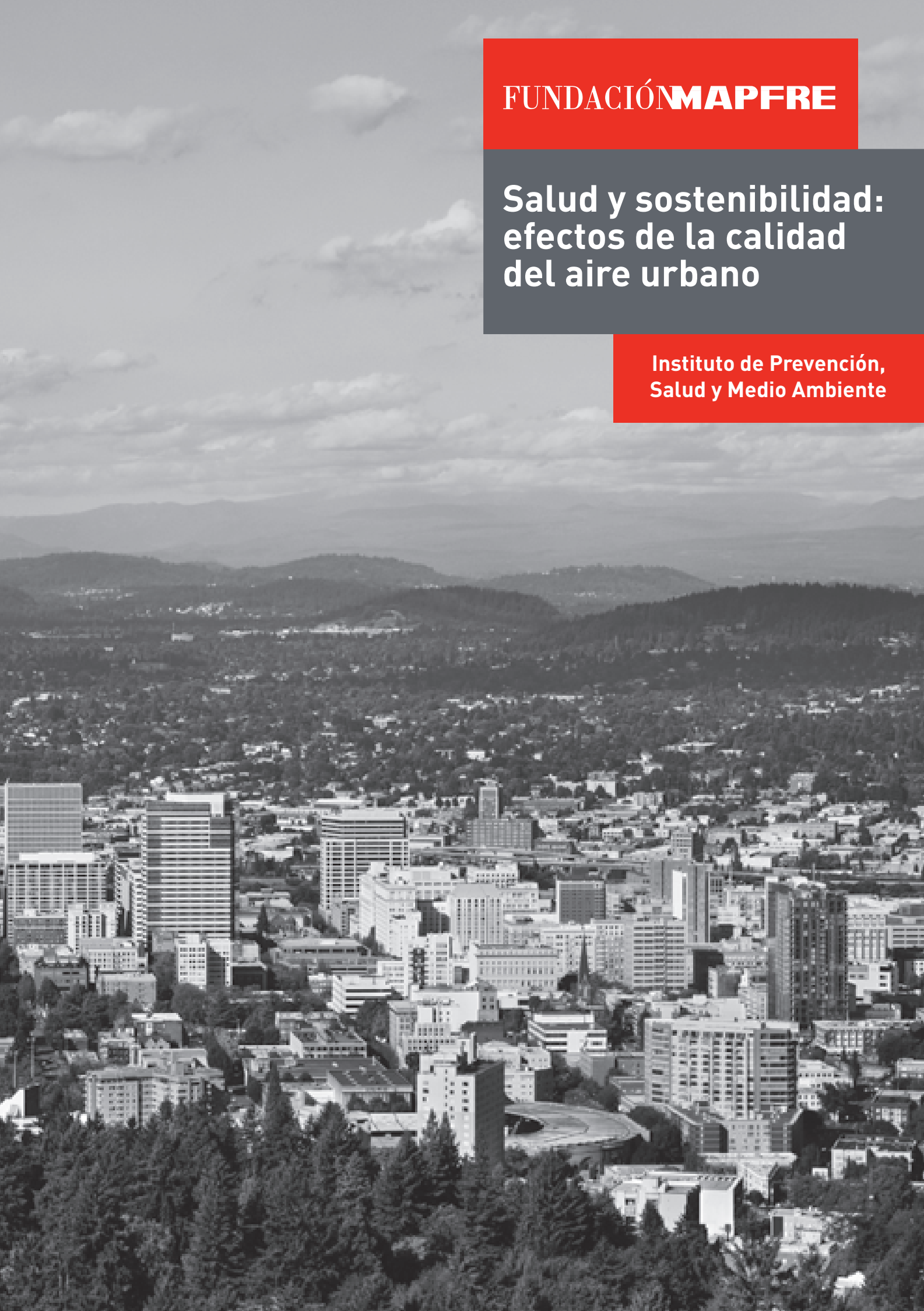
FUNDACIÓNMAPFRE

Salud y sostenibilidad: efectos de la calidad del aire urbano

Instituto de Prevención, Salud y Medio Ambiente



SALUD Y SOSTENIBILIDAD: EFECTOS DE LA CALIDAD DEL AIRE URBANO

FUNDACIÓNMAPFRE

FSC
Fuentes mixtas
Producto proveniente de bosques bien gestionados y otras fuentes controladas

AUTORES Y AGRADECIMIENTOS

Dirección OSE:
Jiménez Herrero, Luis M. *Director ejecutivo del OSE*

Director General del Instituto de Prevención, Salud y Medio Ambiente de FUNDACIÓN MAPFRE:
Guzmán Córdoba, Antonio

Coordinación FUNDACIÓN MAPFRE:
Camarero Rodríguez, Fernando

Coordinación OSE:
Ayuso Álvarez, Ana M.
Guaita García, Noelia

Autores OSE:
Álvarez-Uría Tejero, Pilar
Ayuso Álvarez, Ana M.
Checa Rodríguez, Almudena (OSE)
De Carvalho Cantergiani, Carolina
De la Cruz de Leiva, José Luis
Delgado Jiménez, Alexandra
Guaita García, Noelia
Landa Ortiz de Zarate, Lucía
López Hernández, Isidro
Sancho Lozano, Ester
Zamorano Chico, Cristina

Autores-colaboradores externos:
Alonso del Amo, Rocío (CIEMAT)
Ballester Díez, Ferrán (Universidad de Valencia. CSISP. CIBERESP)
Díaz Jiménez, Julio (Escuela Nacional de Salud, ISCIII).
García Vivanco, Marta (CIEMAT)
Garrido Irigoyen, Juan Luis (CIEMAT)
Linares Gil, Cristina (Centro Nacional de Epidemiología, ISCIII)
Martilli, Alberto (CIEMAT)
Martín Llorente, Fernando (CIEMAT)
Palomino Márquez, Inmaculada (CIEMAT)
Querol, Xavier (Institute of Environmental Assessment and Water Research (IDÆA, CSIC)
Santiago del Río, José Luis (CIEMAT)
Tobías Garcés, Aurelio (Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua. CSIC)

Agradecimientos:
Aranguez Ruiz, Emiliano (Sociedad Española de Sanidad Ambiental)
Fuster Loran, Fernando (Observatorio de la Alimentación, Salud y Medio Ambiente, CAM)
Guerra Romero, Luis (Director de la Escuela Nacional de Salud. ISCIII)
Ordoñez Iriarte, José María (Sociedad española de Sanidad Ambiental)

© FUNDACIÓN MAPFRE
Paseo de Recoletos, 23. 28004 Madrid (España)
Teléfono: 91 581 00 97
www.fundacionmapfre.com

Depósito Legal: M-M-30245-2013

Impreso en LUFERCOMP, S.L.

Se autoriza la reproducción parcial de la información contenida en este estudio siempre que se cite su procedencia.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN FUNDACIÓN MAPFRE 9

PRESENTACIÓN DEL OBSERVATORIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN ESPAÑA 11

0. INTRODUCCIÓN: CALIDAD DEL AIRE, SALUD Y SOSTENIBILIDAD URBANA 13

1. OBJETO Y METODOLOGÍA 15

1.1. Objeto 15

1.2. Metodología 15

1.2.1. Datos y fuentes 16

1.2.1.1. Principales contaminantes 20

■ Óxidos de nitrógeno (NOx) 20

■ Partículas en suspensión (PM_{10}) 20

■ Ozono 21

1.2.1.2. Limitaciones 21

2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: CAUSAS Y EFECTOS 23

2.1. Causas de la contaminación urbana 23

2.2. Impacto de la contaminación atmosférica 24

2.3. Vulnerabilidad Social 24

2.3.1. Desigualdades y calidad del aire 25

2.3.2. Colectivos vulnerables 25

2.4. Coste económico de la contaminación atmosférica 26

2.5. Marco regulador 28

3. LA CIUDAD: ¿UN MARCO DE VIDA SALUDABLE? 33

3.1. Modelo urbano y contaminación atmosférica 33

3.2. Expansión urbana descontrolada (*Urban Sprawl*) y contaminación atmosférica 34

3.3. Vulnerabilidad urbana y exposición a la contaminación del aire: una cuestión de justicia ambiental 36

3.3.1. Justicia ambiental en el contexto del desarrollo sostenible: justicia social y equidad ambiental 36

3.3.2. Población vulnerable y calidad del aire 37

3.3.3. Contaminación urbana por transporte y exclusión social 38

3.3.4. Estudio de caso: la ciudad de Madrid 38

3.4. Impacto del sector transporte en la calidad del aire urbano 43
3.4.1. La movilidad urbana y metropolitana: la planificación estratégica para fomentar una movilidad sostenible 46
3.4.2. Incidencia del tráfico rodado en la calidad del aire urbano 47
3.4.2.1. Contaminantes emitidos por el tráfico rodado 47
3.4.2.2. Contribución del tráfico rodado a la contaminación atmosférica urbana 50
3.5. Análisis de la calidad del aire en las ciudades españolas 53
3.6. Modelos de calidad del aire urbano 58
3.6.1. Aplicación, potencialidad y utilidad de los modelos de calidad del aire 58
3.6.2. Evaluación de la calidad del aire urbano: aplicación de modelos 58
3.6.3. Modelos a escala de calle: ejemplo de herramienta para la mejora de la calidad del aire 61
3.7. Efecto de la contaminación atmosférica urbana en la periferia 67
3.7.1. La contaminación atmosférica en la periferia de Madrid: gradiente entre Madrid y la Sierra de Guadarrama 68
3.7.2. Riesgo de daños provocados por el ozono para la protección de la vegetación y la salud humana 70
3.8. La ciudad ante el cambio climático: incidencia de la contaminación atmosférica 72
3.8.1. Infraestructura gris 77
Estudio de caso: diseño urbano, consumo energético, clima urbano y contaminación atmosférica 78
Principales interacciones entre estructura urbana y atmósfera 78
Un ejemplo simple de utilización de un modelo atmosférico para evaluar el impacto de diferentes estructuras urbanas sobre confort térmico y consumo energético 79
3.8.2. Infraestructura verde 82
Estudio de caso: Modelización de la influencia de la vegetación del monte de El Pardo en la calidad del aire de Madrid 83
3.8.3. Infraestructura azul 87

4. IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA SALUD 91

4.1. Medio ambiente, calidad del aire y salud 91
4.1.1. Calidad del aire interior 92
4.1.2. Calidad del aire exterior 93
4.2. Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud 94
4.2.1. Efectos agudos o a corto plazo de la contaminación del aire en la salud 95
4.2.2. Efectos crónicos a largo plazo de la contaminación del aire en la salud 95
4.3. Grupos de especial vulnerabilidad a la contaminación atmosférica 98
4.3.1. Contaminación atmosférica y salud infantil 99
4.3.2. Efectos de la exposición a las emisiones de tráfico rodado sobre la salud infantil 101
Efectos de los Contaminantes en la salud infantil 102
4.4. La Ubicación de colegios y escuelas infantiles: Un riesgo de exposición a contaminación atmosférica en la población infantil 104
4.4.1. Actuaciones desarrolladas en Reino Unido para evitar la exposición de la población infantil a niveles de contaminación elevados: la Campaña de Aire Limpio 105
4.4.2. Ubicación de centros educativos en la ciudad de Madrid y su relación con la calidad del aire y la salud de los escolares 107
Escolares entre 0-6 años: educación infantil 109
Dióxido de Nitrógeno (NO_2) 110
Partículas ($PM_{2.5}$) 112
Partículas (PM_{10}) 112
Ozono (O_3) 115
4.5. Las evaluaciones de impacto en salud, ¿Herramienta o Estrategia? 119
4.6. Incidencia del Cambio Climático en la contaminación atmosférica 123
4.6.1. Efectos del Cambio Climático sobre la Salud 124
4.6.2. Incidencia del Cambio Climático en la contaminación atmosférica 126
4.7. Particularidad de la Contaminación atmosférica en España: Influencia de las intrusiones del Polvo Sahariano 129

5. ESTRATEGIAS INTEGRADAS PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AIRE, LA SALUD Y LA SOSTENIBILIDAD 133

5.1. El principio de precaución como elemento principal de la política de salud y medio ambiente 133

5.2. Política Europea en materia de calidad del aire 134

5.3. Estrategias de actuación en materia de calidad del aire 135

5.3.1. Estrategia temática sobre la contaminación atmosférica de la UE 135

5.3.2. Estrategia española sobre la contaminación atmosférica 136

5.4. Planes de actuación 137

5.4.1. Plan nacional de mejora de la calidad del aire (pnmca) 137

5.4.2. Planes de acción sobre la calidad del aire en el ámbito autonómico y local 138

5.5. Política de salud y medio ambiente de la Unión Europea 141

5.5.1. Estrategia en materia de medio ambiente y salud 141

5.5.2. Plan de acción de medio ambiente y salud (2004-2010) 142

6. PROPUESTAS DE ACTUACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE URBANO 143

6.1. Medidas de eficiencia y reducción del transporte 144

6.2. Desarrollo de infraestructuras verdes, azules y grises que potencien la mejora de la calidad del aire urbano 146

6.3. La planificación estratégica como herramienta de gestión para la reducción de contaminantes urbanos 147

6.4. Adaptación y medidas de mejora ante un escenario de cambio climático 148

6.5. Medidas para mejorar el impacto de la contaminación atmosférica en la salud pública y calidad de vida de los ciudadanos 151

7. ANEXOS 151

ANEXO I. Marco regulatorio 151

I.1. Marco regulatorio de la Organización Mundial de la Salud 151

I.2. Marco regulatorio americano: Agencia Americana de Protección Ambiental (EPA) 152

I.3. Marco regulatorio europeo 152

ANEXO II. Relación de colegios y escuelas infantiles ubicados a menos de 150 metros de vías de comunicación con una intensidad de tráfico (IMS ≥ 40.000 veh/día) 153

ANEXO III. Relación de siglas, acrónimos y abreviaturas 165

ANEXO IV. Relación de figuras, mapas y tablas 169

CAPÍTULO 1 169

Figuras 169

CAPÍTULO 2 169

Tablas 169

CAPÍTULO 3 169

Figuras 169

Mapas 171

Tablas 171

CAPÍTULO 4 172

Figuras 172

Mapas 172

Tablas 173

CAPÍTULO 5 173

Tablas 173

ANEXOS 174

Tablas 174

ANEXO V. Referencias bibliográficas 176

PRESENTACIÓN FUNDACIÓN MAPFRE

No cabe duda de que el desarrollo económico viene aparejado al desarrollo de las grandes aglomeraciones urbanas. Las ciudades están creciendo a gran velocidad, ya que más del 90% del crecimiento poblacional en países en desarrollo tiene lugar en las urbes. Para el año 2030, se estima que el 60% de la población mundial vivirá en áreas urbanas. En la actualidad más de 250 ciudades superan el millón de habitantes, e incluso algunas como São Paulo o México DF, los 20 millones.

El historial de crecimiento de una ciudad determina de forma crítica su desarrollo medioambiental. Aspectos como la presencia de zonas verdes, zonas peatonales, distribución de áreas residenciales, industriales o de servicios, sus medios de transporte colectivo, y red viaria entre otros, determinan los patrones de movilidad. Y esta movilidad, centrada en muchos casos en los vehículos con motor de explosión, es una de las principales responsables de la reducción en la calidad del aire de las urbes, junto con las actividades industriales y residenciales.

La Organización Mundial de la Salud estima que la contaminación atmosférica urbana causa en todo el mundo 1,3 millones de muertes anualmente. La exposición a los contaminantes atmosféricos, es difícilmente evitable por la población, y son necesarias medidas coordinadas de las autoridades a nivel local, regional e internacional, para reducir la polución. Para conseguir un aire limpio es preciso adoptar una visión integral, en la que se integren elementos como las políticas de planificación urbanística, y los planes de movilidad urbana.

Creemos que las actividades de educación y sensibilización son claves a la hora de promover en la sociedad hábitos o conductas más sostenibles, pero para eso es necesario conocer la situación de la que partimos, principal objetivo de esta publicación.

Desde aquí quiero agradecer la dedicación y entusiasmo puesto por todos los que han colaborado en la realización de este estudio, consciente de la magnitud del esfuerzo que supone la elaboración de una publicación de estas características.

Antonio Guzmán Córdoba

Director General del Instituto de Prevención, Salud y Medio Ambiente
FUNDACIÓN MAPFRE

PRESENTACIÓN DEL OBSERVATORIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN ESPAÑA

El OSE en su misión de estimular el cambio social hacia la sostenibilidad viene publicando informes anuales genéricos sobre sostenibilidad en España, así como otros informes temáticos en el ámbito del desarrollo sostenible. En el año 2007 el informe temático estuvo dedicado a la *Calidad del aire en las ciudades. Clave de sostenibilidad urbana,* y en 2008 a la *Sostenibilidad local. Una aproximación urbana y local* por ser éste un tema verdaderamente significativo para la sostenibilidad en la dimensión urbana.

Ahora con el nombre de *Salud y sostenibilidad: efectos de la calidad del aire urbano*, el OSE en colaboración con FUNDACIÓN MAPFRE continúan su línea de trabajo y presentan conjuntamente este informe sobre salud, medio ambiente y sostenibilidad.

Durante las últimas décadas, la contaminación atmosférica se ha convertido en un problema importante y serio. Su impacto en nuestras vidas y actividades así como en los ecosistemas, con las consiguientes repercusiones socioeconómicas, ha conducido a la necesidad de examinar con profundidad las emisiones de gases contaminantes, al objeto de conocer sus comportamientos y reducir las cantidades emitidas en la atmósfera.

El aire es uno de los principales problemas ambientales que existen en toda la humanidad actual ya que en la actualidad la mitad de las poblaciones residen en ciudades (el 70% de la población en España, el 80% de la población europea y el 50% de la población mundial). La ciudad se convierte en la localización estratégica hacia la que hay que orientar los mayores esfuerzos para diseñar medidas o actuaciones encaminadas a mejorar la calidad del aire. Además es en estos contextos en donde adquieren mayor importancia los efectos que en la salud tienen la contaminación atmosférica y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Un aspecto fundamental en relación con los efectos del desarrollo urbano sobre la calidad del aire es el enorme ritmo de crecimiento de las ciudades y las áreas urbanas, en muchas zonas de España, siguiendo patrones de modelo de ciudad dispersa de baja densidad. Esto conlleva importantes impactos y riesgos para la sostenibilidad urbana ya que requiere más infraestructuras de transporte, un mayor consumo de energía y una creciente ocupación de suelo. Estos factores degradan el medio ambiente y aumentan las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero, con las sabidas consecuencias negativas sobre la calidad del aire, el cambio climático y la contaminación acústica, entre otras. Así, la expansión urbana descontrolada afecta directamente a la calidad de vida de la población que vive en las ciudades y a otros sistemas sociales y naturales circundantes.

Este informe identifica las principales fuentes de contaminación, estrechamente relacionadas con las actuales formas de vida de las ciudades, el ordenamiento urbano y el modelo de movilidad existente en nuestros sistemas urbanos, dedicando un capítulo al análisis de los diferentes modelos urbanos, su incidencia en la calidad de vida y en la contaminación atmosférica, incluyendo la caracterización del contexto urbano español y la relación entre vulnerabilidad urbana y contaminación atmosférica.

El seguimiento que el OSE viene haciendo en los últimos ocho años en materia de indicadores a través de los informe anuales de Sostenibilidad en España, señala que aunque la calidad del aire en las ciudades españolas ha mejorado en términos absolutos debido a una reglamentación más estricta, la salida de las industrias de las ciudades y la incorporación de determinados avances técnicos, los indicadores de algunos contaminantes reflejan que, la situación y tendencia de la calidad del aire en algunas ciudades españolas, no es aún satisfactoria y constituye una preocupación creciente para la población por su incidencia en la salud. Este es precisamente un mensaje que se ratifica en este informe.

Este análisis se ha elaborado a través de la Base de Datos de Calidad del Aire del MAGRAMA, que recoge los datos de inmisiones de las estaciones de las redes de vigilancia y control de la contaminación atmosférica validada por las Comunidades Autónomas y se ha completado con el desarrollo de modelos de calidad del aire urbano a escala estatal elaborados por el CIEMAT.

Los modelos de calidad del aire urbano son herramientas fundamentales para el análisis y estudio de la contaminación atmosférica, ya que permiten investigar el impacto de determinadas fuentes de contaminantes sobre los niveles de contaminación atmosférica en áreas concretas, proporcionando una completa aproximación en modo cualitativo y cuantitativo. Los modelos, convenientemente validados con mediciones, son una herramienta complementaria a las observaciones de las redes de monitorización de la calidad del aire, ya que conjugan la calidad de las mediciones con la cobertura y resolución espacial de los resultados de los modelos. Las directivas europeas y la legislación nacional ahondan en este aspecto delimitando la aplicabilidad y requerimientos de exactitud de los modelos.

El reconocimiento cada vez mayor de la incidencia en salud de la degradación medioambiental está impulsando toda una batería de medidas de carácter normativo que desde la UE a través de directivas se va incorporando en los distintos países miembros a través de sus sistemas legislativos. La calidad del aire en las ciudades españolas siguen siendo un problema para la salud de sus ciudadanos, afectando muy especialmente a los niños, los mayores, y las personas con problemas cario-respiratorios. Los resultados del informe muestran cómo en muchas de las ciudades españolas se siguen sobrepasando no solo los límites establecidos por la legislación europea para algunos contaminantes, si no que además, estos límites están bastante por encima de los establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

Los investigadores del Instituto de Salud Carlos III han aportado al informe los últimos estudios de investigación sobre los efectos de la contaminación atmosférica en los grupos de especial vulnerabilidad, la influencia de las intrusiones del polvo sahariano, así como el efecto y el impacto que el cambio climático tendrá en la salud pública, y que constituye, hoy en día, una de las principales preocupaciones de la población. El coste de la contaminación atmosférica no es solo en términos de salud pública sino que también tiene un elevado coste de carácter económico y social.

Abordar los problemas de la contaminación atmosférica requiere de actuaciones integradas y de carácter transversal en distintos ámbitos, que tiene que ver con políticas de salud, movilidad urbana y cambio climático. El informe recoge las distintas estrategias, actuaciones y planes de actuación que se han desarrollado para la mejora de la calidad del aire, destacando la importancia de las estrategias del planeamiento urbano y territorial en la búsqueda de alternativas para que las ciudades sean lugares habitables o saludables.

El OSE, junto a FUNDACIÓN MAPFRE, quieren que a través de este informe el lector pueda ser consciente de lo que es el aire, los efectos de su calidad, su salud y la manera de medirlo, de controlarlo y planificarlo. La información y formación de los ciudadanos junto con la responsabilidad administrativa es fundamental. Estudiar un problema no implica necesariamente su solución, pero la investigación o búsqueda de instrumentos que ayuden a las actuaciones necesarias de gestión para su resolución sirven para buscar posibles alternativas para hacerles frente. El conocimiento del funcionamiento de un sistema es condición necesaria y obligada para encontrar soluciones. Y el complejo sistema urbano reclama soluciones integradas con una visión de futuro.

Mi agradecimiento y felicitación a la Unidad Técnica del OSE, así como a los investigadores y profesionales que han contribuido a hacer realidad este informe con la finalidad de favorecer el conocimiento del estado de la calidad del aire y sus efectos en la salud y la sostenibilidad urbana.

Luis M. Jiménez Herrero
Director Ejecutivo del OSE

0. Introducción: Calidad del aire, salud y sostenibilidad urbana

La contaminación atmosférica local, especialmente en las grandes zonas urbanas, se está convirtiendo en una de las principales preocupaciones ambientales de los ciudadanos. Esta preocupación radica, en buena medida, en los efectos de esta contaminación sobre la salud, especialmente en lo que se refiere a su incidencia en las enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

En la actualidad el deterioro de la calidad del aire en las ciudades está directamente relacionado con la movilidad y las actividades productivas de los sectores económicos tales como el sector transporte, responsable de las emisiones de partículas, óxidos de nitrógeno y otros precursores del ozono que constituyen las presiones más relevantes. Aunque los vehículos de hoy son menos contaminantes que en el pasado, el importante incremento del parque automovilístico en circulación ha neutralizado en gran medida los beneficios derivados de los avances tecnológicos y de los cambios de carburantes.

En España, aunque los procesos de industrialización y de urbanización de grandes áreas territoriales han ido deteriorando la calidad del aire, en la actualidad el problema de la mala calidad del aire es un problema fundamentalmente urbano estrechamente ligado al tráfico, al modelo de desarrollo urbanístico y a los estilos de vida asociados.

Un aspecto fundamental en relación con los efectos del desarrollo urbano sobre la calidad del aire es el enorme ritmo de crecimiento de las ciudades y las áreas urbanas, en muchas zonas de España, siguiendo patrones de modelo de ciudad dispersa de baja densidad. Esto conlleva importantes impactos y riesgos para la sostenibilidad urbana ya que requiere más infraestructuras de transporte, un mayor consumo de energía y una creciente ocupación de suelo. Estos factores van en detrimento del medio ambiente y aumentan las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero, con las consabidas consecuencias negativas sobre la calidad del aire, el cambio climático y la contaminación acústica, entre otras. Así, la expansión urbana descontrolada afecta directamente a la calidad de vida de la población que vive en las ciudades y a otros sistemas sociales y naturales circundantes.

El sector transporte es la principal fuente de contaminación de la atmósfera en las zonas urbanas, además de generar problemas de ruido y contribuir al cambio climático. Para reducir y paliar sus efectos es importante desarrollar planes y estrategias de movilidad y transporte urbano sostenible, introducir mejoras tecnológicas para la producción de energía limpia en las ciudades, y optimizar la planificación urbanística y la ordenación del territorio, así como ser más estrictos a la hora de autorizar determinadas actividades o instalaciones especialmente contaminantes, tal y como recoge la Ley de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera.

Desde los años setenta se ha articulado un amplio repertorio de políticas e instrumentos legales de ámbito nacional, europeo e internacional, tendentes a hacer compatibles el desarrollo económico y social con la preservación de la atmósfera. No obstante, no han sido todo lo efectivos que cabría esperar, de tal forma que los niveles de contaminación actuales están provocando efectos adversos muy significativos para la salud humana, el medio ambiente y el patrimonio.

Todos tenemos derecho a respirar un aire limpio, sin embargo una parte importante de la población española que vive en las ciudades está sometida a elevados niveles de contaminación atmosférica. Esta exposición continuada a estos altos niveles tiene importantes efectos sobre la salud. Por tanto son necesarios cambios importantes en nuestros estilos de vida que afectan a grandes sectores de la población, así como actuaciones inmediatas y radicales respecto a la movilidad, el urbanismo, el diseño de las ciudades, y la planificación de las actividades industriales que reduzcan de una manera significativa los niveles de contaminación en nuestras ciudades, además de poner en marcha sistemas de información predictiva y en tiempo real de la contaminación.

Progresar hacia un desarrollo más sostenible es progresar de una forma inteligente en las dimensiones económica, social y ambiental del desarrollo. Es evidente que la información todavía no es completa pero existen suficientes razones para actuar, no se trata de mejorar la calidad de vida desde un punto de vista genérico, sino de evitar daños muy concretos a nuestra salud. El objetivo final debe ser restablecer los valores de contaminación del aire a niveles inferiores a los límites marcados por la legislación y por tanto compatibles con la salud de la población. De modo que la información, la educación, la responsabilidad y la participación son las palabras claves para la consecución del cambio.

1. Objeto y metodología

1.1. Objeto

Este informe "Salud y sostenibilidad: efectos de la calidad del aire urbano" es el resultado de un compromiso de FUNDACIÓN MAPFRE y el Observatorio de la Sostenibilidad en España a través de un convenio de colaboración entre ambas instituciones.

El objetivo inmediato de este convenio es coordinar actuaciones para abordar los problemas de Salud y Medio Ambiente en el marco de la sostenibilidad desarrollando así una línea de investigación sobre salud y medio ambiente desde los principios de la sostenibilidad.

Con este informe se pretende dar continuidad y ampliar investigaciones previas elaboradas por el Observatorio de la Sostenibilidad en España en materia de calidad del aire y sostenibilidad urbana.

La contaminación atmosférica continúa siendo un motivo de preocupación en España. Existen niveles de contaminación con efectos muy adversos sobre la salud y el medio ambiente. Por esta razón este informe centra el análisis en el tema que hoy entendemos de mayor relevancia social como es la salud de las personas y las interacciones en el entramado urbano. En este ámbito de estudio se han analizado los sectores contaminantes, los niveles de contaminación, el modelo de ciudad, los efectos en la salud humana, así como las estrategias integradas de la calidad del aire, salud y sostenibilidad, finalizando con la formulación de medidas y propuestas para la mejora de la calidad del aire.

1.2. Metodología

La aproximación a la situación de la calidad del aire en las ciudades españolas y sus efectos en la salud se ha realizado a partir del esquema Fuerzas motrices-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FPEIR) propuesto por la Agencia Europea de Medio Ambiente.

El estudio de la calidad del aire se ha realizado sobre fuentes de información directas procedentes de mediciones de emisiones e inmisiones, así como de fuentes indirectas basadas en la utilización de modelos de calidad del aire a partir de los cuales se trata de simular matemáticamente la evolución de los contaminantes atmosféricos desde que son emitidos desde las distintas fuentes emisoras. Estos modelos matemáticos proporcionan mapas de concentración de contaminantes para distintos instantes de tiempo.

Para el análisis del impacto de la contaminación en la salud se ha recurrido a estudios epidemiológicos y toxicológicos y para estimar los beneficios potenciales derivados de la mejora de la calidad del aire en la salud se han utilizado las Evaluaciones de Impacto en la Salud (EIS).

1.2.1. Datos y fuentes

Para medir la calidad del aire en las ciudades españolas se han utilizado fuentes de información primaria como son las emisiones e inmisiones recogidas en el Inventario Nacional de Emisiones y de la Base de datos de Calidad del Aire del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) respectivamente, así como de fuentes de información secundaria con datos resultantes de la aplicación de modelos de calidad del aire.

La cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera en el conjunto del Estado Español es estimada anualmente por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente mediante el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera. Este Inventario contempla tanto las emisiones de origen antropogénico como las de origen natural y abarca un amplio espectro de contaminantes incluyendo acidificadores, precursores del ozono troposférico y gases de efecto invernadero, metales pesados, partículas y contaminantes orgánicos persistentes.

Las fuentes de emisión en el Inventario se diferencian en *superficiales* (las que se componen de diversas unidades emisoras que, por su reducida significación individual o por la forma en que se presenta su información de base, han de tratarse de forma agregada sobre una determinada área geográfica) y *puntuales* (aquellas que por su significación deben tratarse de forma individualizada). Las actividades generadoras se clasifican en once grandes divisiones que reflejan las grandes categorías de fuentes antropogénicas y naturales (SNAP: Selected Nomenclature for Sources of Air Pollution): combustión en la producción y transformación de energía; plantas de combustión no industrial; plantas de combustión industrial; procesos industriales sin combustión, extracción y distribución de combustibles fósiles y energía geotérmica; usos de disolventes y otros productos; transporte por carretera; otros modos de transporte y maquinaria movil; tratamiento y eliminación de residuos; agricultura y otras fuentes y sumideros (naturaleza).

Las Comunidades Autónomas y algunos Ayuntamientos también elaboran Inventarios de Emisiones Atmosféricas de sus respectivos territorios, de acuerdo con la misma metodología.

Para el análisis de la calidad del aire en las ciudades solo se han considerado datos de las redes de inmisiones de las ciudades de más de 100.000 habitantes, a pesar de que en otras ciudades más pequeñas también pueden encontrarse problemas notables de contaminación atmosférica. Sólo se han utilizado los datos oficiales validados por el MAGRAMA.

Además de los datos recogidos por las redes de inmisiones se han utilizado modelos de calidad del aire complementarios elaborados por el Grupo de Modelización Atmosférica de la División de Contaminación Atmosférica del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Los modelos de calidad del aire tratan de simular matemáticamente la evolución de los contaminantes atmosféricos desde que son emitidos desde industrias, centrales de producción de energía, coches, etc. Reproducen los procesos de transporte por el viento, la difusión debida a la turbulencia atmosférica, las transformaciones químicas que se producen en la atmósfera y la eliminación del contaminante por efecto de la lluvia (depósito húmedo) o por contacto con los elementos de la superficie terrestre (depósito seco). Todos estos procesos obedecen a formulaciones matemáticas basadas en el conocimiento científico sobre contaminación atmosférica que son codificadas en programas informáticos para ser ejecutadas en ordenadores. Los modelos de calidad del aire proporcionan mapas de concentración de contaminantes para distintos instantes de tiempo.

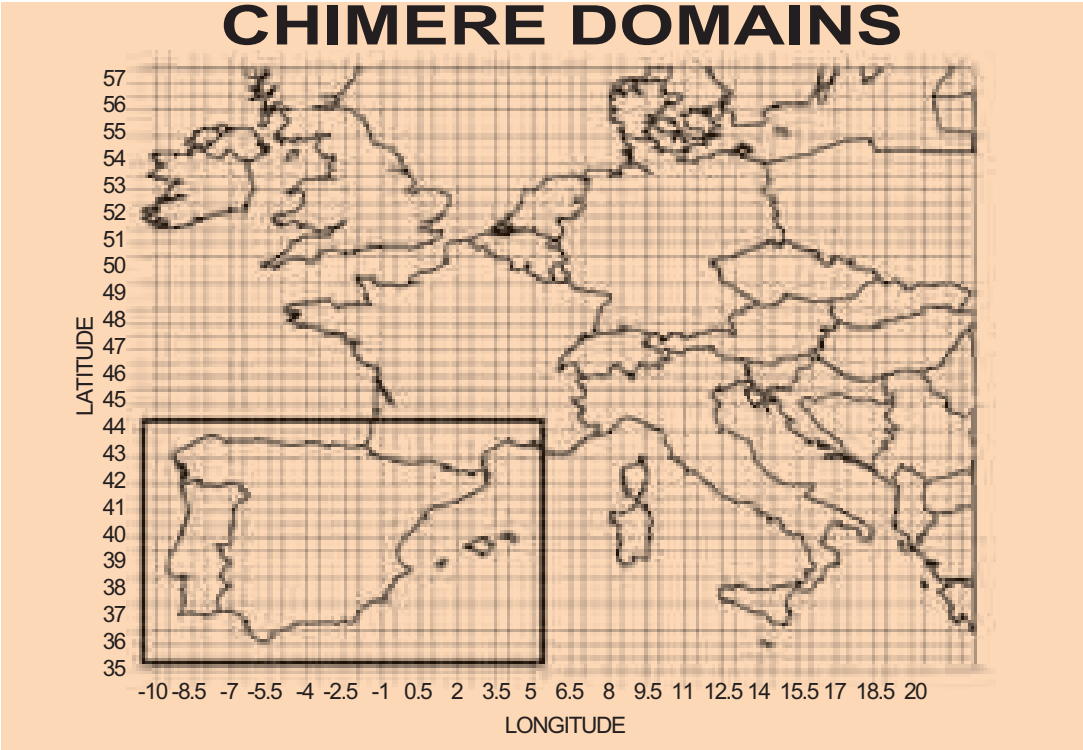
Los modelos de calidad del aire necesitan tener información de cómo son las circulaciones atmosféricas en la zona que se desean investigar. Por ello, usan la información que generan los modelos meteorológicos, es decir, aquellos modelos que predicen el tiempo atmosférico. También necesitan conocer cuántos contaminantes se emiten, dónde y cuando. Esto se consigue a través de los inventarios de emisiones o a través de modelos de emisiones, que proporcionan tasas de emisión de cada contaminante en cualquier lugar del área de estudio y para cualquier instante. Conseguir información detallada de las emisiones de contaminantes es especialmente difícil y suele tener un grado de incertidumbre bastante significativo.

Los modelos son sometidos a evaluación comparándolos con los datos medidos en estaciones en distintas condiciones atmosféricas y de emisiones con objeto de verificar su validez para su posterior utilización como herramientas para la gestión de la calidad del aire.

En este informe los dominios de modelización fueron dos anidados: uno europeo y otro peninsular (Figura 1.2.1). Se ha utilizado el modelo de dispersión CHIMERE[1] (que incluye además las transformaciones químicas de los contaminantes) con condiciones de contorno del dominio europeo obtenidas de los modelos de dispersión a escala planetaria. CHIMERE se alimenta también de los campos meteorológicos simulados con los modelos MM5[1] (hasta 2007) y WRF1 (desde 2008 en adelante) y de los datos de emisiones totales anuales de contaminantes en malla de celdas de 50x50 km^2 proporcionados por el Programa EMEP (http://www.emep.int/).

Estas emisiones fueron adaptadas a emisiones en las celdas del modelo CHIMERE usando un procedimiento de desagregación espacial con base a la distribución de los usos de suelos (muy relacionados con la distribución de fuentes de contaminantes). Estas emisiones fueron también desagregadas en el tiempo teniendo en cuenta perfiles anuales, semanales y diarios de actividad de cada tipo de fuente contaminante hasta obtener tasas de emisión horarias de cada contaminante en cada celda. En la figura 1.2.2, puede verse el esquema de la cadena de modelos utilizados a partir de 2008. Las resoluciones espaciales fueron del orden de 20x20 km^2 hasta el año 2007 y 10x10 km^2 a partir de 2008 en dominio peninsular.

FIGURA 1.2.1. Dominios espaciales de cálculo del modelo CHIMERE.



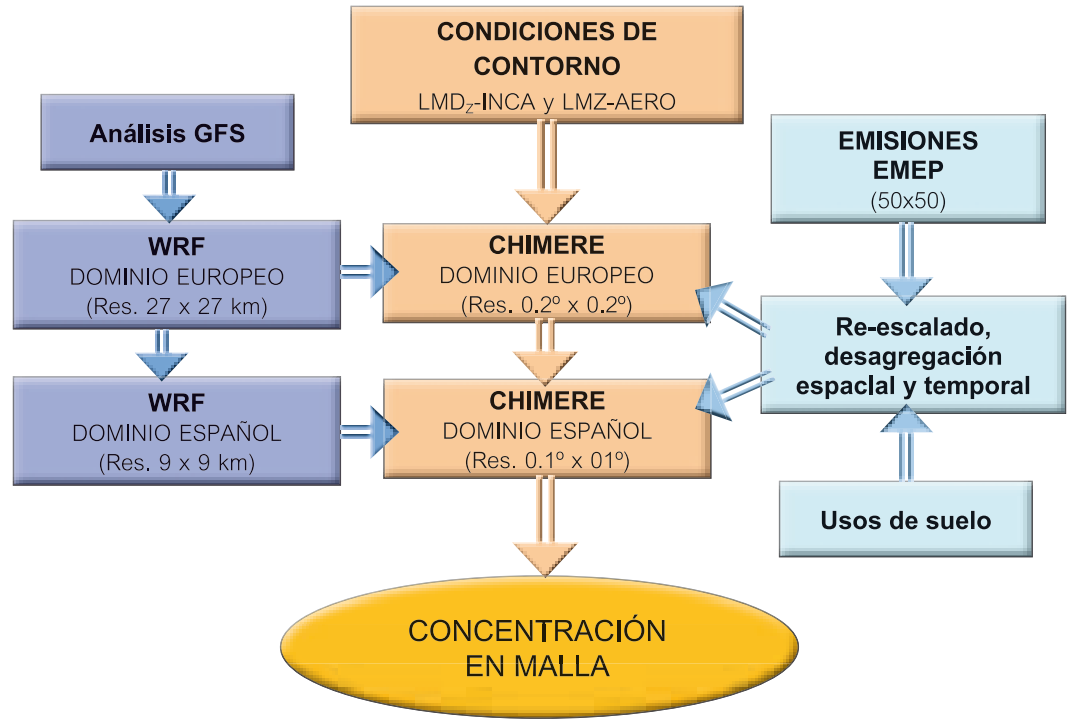
Fuente: CIEMAT, 2012

Para presentar el impacto de la contaminación atmosférica en la salud se ha analizado tanto el impacto de la contaminación del aire de origen antropogénico como natural. En el primer caso se utilizan estudios epidemiológicos y toxicológicos, y en el segundo caso, se procede primero al cálculo de las intrusiones del polvo sahariano. Para ello se utiliza la información suministrada por el Ministerio de Agri-

[1] La descripción de estos modelos puede encontrarse en el Portal Web de Modelización de la Contaminación Atmosférica (http://mca-retemca.ciemat.es/MCAportal/).

cultura, Alimentación y Medio Ambiente[2], información de mapas de polvo NRL SKiron y BSCDREAM e imágenes satélite de NASA SEAWifs. El método de análisis es de retrotrayectorias (modelo Hysplit).

FIGURA 1.2.2. Diagrama explicativo de la configuración de modelos utilizada para la evaluación de la calidad del aire en España a partir de 2008.



Fuente: CIEMAT, 2012.

Por último el cálculo de los costes de la contaminación atmosférica para la mayoría de sus impactos, se ha basado en la adaptación de estudios ya realizados para el conjunto de la UE.

La valoración de los costes económicos de los daños que provoca la contaminación atmosférica en la Unión Europea ha sido realizada en el marco del Programa Clean Air for Europe (CAFE) basados, para alguno de los impactos detectados en el proyecto europeo ExternE (Externalidades de la Energía) en el que se valoraron los costes externos de la generación de electricidad en cada uno de los Estados miembros de la Unión Europea incluyendo varios tipos de combustible. Para la valoración de otros impactos el programa CAFE se basó en otros proyectos de la Comisión Europea como la valoración económica de la directiva de techos nacionales de emisión, el análisis coste-beneficio de las directivas hijas de la directiva de calidad del aire, y de la directiva sobre incineración de residuos, entre otros trabajos.

La metodología descrita en el programa CAFE muestra como la cuantificación de los costes económicos siguen un proceso metodológico que consta de cuatro fases: (i) identificación de las fuentes y cuantificación de las emisiones de NO_x y VOCs, (ii) cálculo de la dispersión y la concentración, (iii) aplicación de las funciones dosis-respuesta y (iv) valoración de los costes. Bajo este escenario los impactos y los daños son calculados según la siguiente relación general:

Impacto = contaminación x stock de riesgo x función dosis-respuesta
Impacto económico = impacto x valor unitario del impacto

[2] Disponible on line http://www.calima.ws

La contaminación puede ser expresada en términos de concentración o depósito. El término "stock de riesgo" recoge la cantidad de material sensible o receptores (población, ecosistemas, materiales) presentes en la estimación del impacto.

Esta ecuación puede variar dependiendo del tipo de impacto que se esté considerando. Por ejemplo, las funciones que describen los daños en materiales por depósito de contaminación "ácida" requieren tener en cuenta en el análisis, variables climáticas (como la precipitación) y necesita ser cuantificado para varios contaminantes al mismo tiempo. También para los impactos sobre las cosechas, es necesario distinguir para cada uno de los cultivos ya que estos presentan sensibilidades diferentes. Para el caso de la salud, también es necesario tener en cuenta los diferentes efectos para entender completamente el efecto de la contaminación sobre la salud (AEA, 2005).

La etapa final, la valoración de los impactos, es generalmente realizada desde la perspectiva de "disposición a pagar" (DAP). Para determinados casos en los que no existen precios de mercado que determinen el valor del impacto se aplican métodos directos de valoración como el método de valoración contingente que descubren la disposición a pagar y el valor otorgado, por tanto, al impacto sufrido. Para algunos efectos, tales como el daño en la cosechas pueden emplearse métodos indirectos que se fijen en los precios de mercado para la estimación monetaria del impacto (*ibid*.). Algunos elementos de la valoración de los impactos sobre la salud también pueden ser cuantificadas a través de métodos basados en el mercado, como por ejemplo los costes de las medicinas y el coste del tratamiento. Otros métodos de valoración incluyen el uso de esquemas de precios, para cuantificar el valor de un bien a través de la variación en el precio de otro; podría aplicarse al valor del impacto producido en los sitios históricos (patrimonio histórico) considerando los cambios en los ingresos del turismo (Spadaro, 1999).

Para la cuantificación de algunos de los impactos considerados, la adaptación de los resultados europeos al contexto español tiene una serie de limitaciones metodológicas, que conviene precisar:

- ***Orografía del país.*** La adaptabilidad de los estudios y de la valoración de los impactos a España, pasa por tener en cuenta también la orografía del país. Los impactos producidos por la contaminación del aire no pueden ser los mismos en ciudades españolas rodeadas de macizos montañosos y por tanto con unas concentraciones de contaminantes más altas que ciudades del Norte de Europa como Holanda. El clima también sería un factor diferenciador.
- ***Estructura económica*** del país. El sector transporte y transformación y generación de energía, son los principales sectores económicos impulsores de la contaminación del aire. De esta manera, en la transferencia de resultados europeos para España se debe tener en cuenta el peso de dichos sectores en la economía española con respecto a la europea, y ponderarla para poder obtener una aproximación a dicho coste mucho más precisa.
- Solo se tiene en cuenta la contaminación exterior y no la ***contaminación interior*** en puestos de trabajo y viviendas.
- En el caso de los ***bienes singulares*** como edificios de valor histórico único, sólo se tiene en cuenta el coste de aquellos impactos cuyas consecuencias son reparables y por tanto no suponen un coste irreversible, ya que los daños irrecuperables sobre edificios de interés histórico-artístico no existe ningún método de aproximación al coste de su pérdida (Azqueta, 1996). Se dan datos de otros estudios cuya metodología puede adaptarse a España.
- No quedan incluidos, los costes producidos por el perjuicio que supone la pérdida de ***disfrute de la naturaleza***, por ejemplo la pérdida de visibilidad para la contemplación de un determinado paisaje (*ibid*.).
- En el análisis, no se tienen en cuenta en los impactos cuantificados algunos de los más significativos en términos de sostenibilidad como son: el calentamiento de la atmósfera, la degradación de la capa de ozono, el cambio climático. Se han considerado, sin embargo, el impacto directo producido por la emisión de los contaminantes SO_2, PM, NO_x, NH_3, COV, sobre la salud de la población, ecosistemas, agricultura y materiales.

1.2.1.1. Principales contaminantes

En este informe se analizan los contaminantes atmosféricos más significativos para la calidad del aire urbano: las partículas, los óxidos de nitrógeno y el ozono troposférico debido a que son los que plantean los mayores problemas de incumplimiento de normativa además de ser los que originan más problemas de salud humana.

Todos ellos, a excepción del ozono, son contaminantes primarios y, por tanto, proceden directamente de las fuentes de emisión. El ozono troposférico, sin embargo, se trata de un contaminante secundario originado por las complejas reacciones químicas producidas en la atmósfera entre los contaminantes precursores del ozono (óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono y metano) y los propios componentes de la atmósfera.

Existen otros contaminantes muy significativos que, aunque no se analizan en este informe, también deben tenerse en cuenta, tales como los compuestos orgánicos volátiles (COV), los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), los compuestos orgánicos persistentes (COP), los metales y sus compuestos, el amianto (partículas en suspensión, fibras), los halógenos y sus compuestos, los cianuros, las policlorobenzodioxinas y policlorodibenzofuranos, así como sustancias y preparados respecto a los que se haya demostrado que poseen propiedades cancerígenas, mutágenas, teratogénicas o que puedan afectar a la reproducción a través del aire, o agotar la capa de ozono. Para algunos de estos, como las dioxinas o furanos, se ha demostrado que aumentan la probabilidad de padecer cáncer.

A continuación se describen los contaminantes atmosféricos considerados en el informe indicando sus características más importantes y sus efectos en la salud humana.

■ Óxidos de nitrógeno (NOx)

Bajo la denominación de óxidos de nitrógeno se engloban el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el óxido nítrico (NO). Los óxidos de nitrógeno se forman durante los procesos de combustión, por oxidación del nitrógeno atmosférico. El NO_2 es el más importante debido a sus efectos sobre la salud humana, afectando al sistema respiratorio. Además en conjunción con el NO causa daños a la vegetación de tipo acumulativo.

Los NO_x son precursores de la formación de ozono troposférico y de nitratos, además de constituir gases acidificantes y eutrofizantes.

Los *indicadores* utilizados para este contaminante en el análisis de calidad del aire urbano (ver Capítulo 3) son la concentración media anual de dióxido de nitrógeno (NO_2) y el número de horas al año en que se supera la concentración de 200 µg/m^3 en cada uno de los municipios españoles considerados. Los datos obtenidos se comparan con los límites que entraron en vigor en 2010 y que se concretan en que el valor de la concentración media anual no supere los 40 µg/m^3 y que el número de horas al año en que se sobrepasan los 200 µg/m^3 sea igual o inferior a 18.

■ Partículas en suspensión (PM_{10})

A diferencia de otros contaminantes, las partículas son emitidas por una gran variedad de fuentes, en función de las cuales varían sus propiedades físicas (tamaño, densidad, superficie específica, etc.) y su composición química. Las partículas primarias son vertidas directamente a la atmósfera desde la fuente de emisión, mientras que las secundarias se originan a partir de las emisiones de los precursores gaseosos.

Las partículas de origen antropogénico se emiten fundamentalmente en las zonas urbanas e industriales. El tráfico es la principal fuente en el ámbito urbano; la combustión de los combustibles fósiles –especialmente el carbón- constituye la principal fuente en el ámbito industrial, aunque también contribuyen de manera importante a estas emisiones determinadas actividades de la construcción, la minería, la fabricación de cerámicas o cementos y el transporte de materiales; por último, en el ámbito agrícola se producen emisiones significativas debido al movimiento de tierras, las emisiones de residuos biológicos o la quema de biomasa.

Los principales componentes de las partículas secundarias antropogénicas son los sulfatos, los nitratos y los aerosoles orgánicos secundarios.

El tamaño de las partículas es uno de los factores que tiene mayor incidencia en su peligrosidad. El rango de las partículas finas, de diámetro inferior a 2,5 µm ($PM_{2,5}$), son las que presentan los efectos más adversos sobre la salud y corresponden principalmente a las partículas de origen antropogénico. Por ello, la tendencia actual es la de definir nuevos estándares de calidad del aire en función de este tamaño de partículas.

Los *indicadores* utilizados para este contaminante (ver Capítulo 3) son la concentración media anual de partículas en suspensión menores de 10 µm (PM_{10}) y el número de días al año en que se supera la concentración de 50 µg/m³ en cada uno de los municipios españoles considerados. Los datos obtenidos se comparan con los límites que entraron en vigor en 2010 y que se concretan en que el valor de la concentración media anual no supere los 40 µg/m³ y que el número de días al año en que se sobrepasan los 50 µg/m³ sea igual o inferior a 35.

■ Ozono

El ozono es un contaminante secundario que se forma en la atmósfera en presencia de radiación solar mediante reacciones complejas entre determinados compuestos, denominados precursores del ozono. Los principales precursores son los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), el monóxido de carbono (CO) y, en menor medida, el metano (CH_4).

El ozono troposférico es un potente oxidante que provoca problemas respiratorios en la población y agudiza los procesos asmáticos. En la vegetación provoca daños, como lesiones foliares y disminución de los rendimientos de las cosechas.

Al formarse mediante un proceso fotoquímico, las mayores concentraciones de este contaminante se producen en verano. Los niveles de ozono suelen ser superiores en las zonas suburbanas y rurales, alejadas de las fuentes de emisión de sus precursores.

El *indicador* utilizado para este contaminante (ver Capítulo 3) es el número de días al año en que se supera la media octohoraria de 120 µg/m³ de O_3 en cada uno de los municipios españoles considerados. Los datos obtenidos se comparan con el valor objetivo de protección de la salud humana que entró en vigor en 2010 y que consiste en que no se sobrepase dicho valor en más de 25 días al año.

1.2.1.2. Limitaciones

El informe recoge un número limitado de contaminantes atmosféricos, por ser estos los más determinantes y problemáticos de la contaminación urbana: material particulado (PM_{10}), óxidos de nitrógeno (NO_x) y ozono troposférico (O_3).

En el análisis no se ha contemplado la evolución de las concentraciones de SO_2 y CO ya que en entornos urbanos en general (hay que exceptuar zonas cercanas a áreas de industria básica (Ver Figura 3.6.2) no se dan niveles significativos.

Para el análisis de emisiones y calidad del aire en las ciudades sólo se han utilizado los datos validados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, siendo estos los datos oficiales que se remiten anualmente a la Comisión Europea. Además el análisis sólo tiene en cuenta las ciudades mayores de 100.000 habitantes, lo que no significa que las ciudades con un rango de población menor no tengan problemas de contaminación atmosférica.

El estudio de los impactos de la calidad del aire se ha centrado únicamente en la salud humana, sin tener en cuenta los efectos que se producen en los ecosistemas u otros entornos naturales, los materiales y el patrimonio.

La calidad del aire interior tampoco se analiza en este informe a pesar de suponer un riesgo importante para la salud de las personas. Sobre todo teniendo en cuenta que la mayor parte del tiempo, especialmente en áreas urbanas, los ciudadanos lo pasan en el interior de los edificios y la exposición a diversos contaminantes de interior representa un riesgo mayor para la aparición de diversas enfermedades. Una diferencia entre la contaminación atmosférica exterior e interior es que para la mayoría de ambientes, a excepción de los edificios públicos y centros de trabajo, no exista una normativa que regule la contaminación, y no se cuenta con información adecuada de los niveles de contaminantes que se pueden estar alcanzando en algunos lugares cerrados.

2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: CAUSAS Y EFECTOS

2.1. CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN URBANA

La compleja problemática de la contaminación atmosférica se deriva de la emisión de determinados contaminantes que provocan efectos perjudiciales para el medio ambiente, ecosistemas y materiales, así como para la salud, bien actuando por sí solos o por reacciones químicas.

Para que se dé un proceso de contaminación es necesario que se produzca una emisión al seno de la atmósfera, de una cantidad dada de contaminante, desde un foco contaminante o fuente de emisión.

La contaminación atmosférica se define, según la Directiva 84/360/CEE, de 28 de junio de 1984, relativa a la lucha contra la contaminación atmosférica procedente de las instalaciones industriales, como: "La introducción en la atmósfera, directa o indirectamente, por el hombre, de sustancias o de energía que tengan una acción nociva de tal naturaleza que ponga en peligro la salud del hombre, que cause daños a los recursos biológicos y a los ecosistemas, que deteriore los bienes materiales y que dañe o perjudique las actividades recreativas y otras utilizaciones legítimas del medio ambiente".

Las emisiones de contaminantes a la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras: las naturales y las antropogénicas. Las emisiones naturales provienen fundamentalmente de los volcanes, los incendios forestales y la descomposición de la materia orgánica. Los focos antropogénicos principales son: automóviles, plantas industriales, calefacciones, centrales térmicas, etc.

Existen numerosas clasificaciones de las fuentes de emisión, aunque lo más habitual es su clasificación en *fijas o estacionarias (*procesos industriales, instalaciones fijas de combustión, instalaciones de calefacción domésticas, comerciales y de servicios, etc.) y en *móviles o difusas* (vehículos automóviles, aeronaves, buques, etc.). Se suele considerar además fuentes *compuestas*, como las grandes aglomeraciones urbanas o los polígonos industriales.

La contaminación del aire es un grave problema de salud pública y ambiental a los que se asocia un elevado coste económico (ver apartado 2.3). Entre las causas más relevantes de la mala calidad del aire que respiramos destacan el tráfico motorizado y la contaminación industrial, además de otros agentes de menor importancia cuantitativa.

Actualmente la contaminación atmosférica que existe en las ciudades procede mayoritariamente de las fuentes móviles, que con su espectacular incremento en número y en potencia han contrarrestado las importantes mejoras tecnológicas en los combustibles y en la eficiencia de los motores desarrollados en la última década. En ciudades grandes sin actividad industrial la contaminación debida al

tráfico rodado puede superar el 70% del total (*La calidad del aire en el Estado español durante 2010, Ecologistas en acción 2011*).

El crecimiento del automóvil privado es la génesis de la contaminación de las ciudades, con un consumo energético más de cuatro veces superior al del autobús por cada pasajero y es el principal agente emisor en áreas urbanas no industriales. Además el incremento de automóviles diésel frente a los de gasolina ha contribuido al aumento de partículas y óxidos de nitrógeno, ya que los diésel emiten una proporción mucho mayor de ambos contaminantes, siendo estos los contaminantes más problemáticos en los entornos urbanos y con graves afecciones sobre la salud humana.

La mejora tecnológica en motores y combustibles ha incrementado la eficiencia energética y ha reducido la emisión de contaminantes por unidad de energía consumida. Sin embargo, estas mejoras han sido ampliamente contrarrestadas por el incremento progresivo tanto en el transporte por carretera como en el número de kilómetros recorridos per cápita. Al menos ha sido así hasta la llegada de la crisis económica, a causa de la cual sí que ha habido importantes reducciones del consumo de combustibles de automoción.

2.2. Impacto de la contaminación atmosférica

Aunque se ha trabajado mucho durante más de dos décadas para reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera, la contaminación atmosférica en España y en Europa constituye un riesgo y produce efectos negativos en la salud, así como en los entornos naturales y artificiales.

La contaminación atmosférica es una de las principales preocupaciones ambientales de los ciudadanos. Esta preocupación radica, en buena medida, en los efectos de esta contaminación sobre la salud humana.

La contaminación atmosférica está considerada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como uno de los elementos prioritarios que inciden en la salud de las poblaciones a nivel mundial. Además de su impacto en la mortalidad, la contaminación atmosférica se asocia con la aparición o agravamiento de enfermedades como el asma, reacciones alérgicas, bronquitis e infecciones respiratorias. Estas enfermedades han experimentado un notable aumento en los últimos años, especialmente en los niños, por lo que se está estudiando el posible papel de la contaminación atmosférica en dicho incremento.

En este sentido, mejorar la calidad del aire debería recibir mayor atención por parte de las administraciones competentes y ser un objetivo claro de intervención por ser un problema generalizado que incide directamente en la salud de los ciudadanos (en especial niños y mayores de 65 años) y en su calidad de vida. Desarrollar intervenciones orientadas a mejorar la calidad del aire, no solo es necesario sino que además responde a una demanda creciente de los ciudadanos, para evitar altos costes económicos asociados y riegos para la salud y la calidad de vida, todos ellos aspectos claves para la sostenibilidad urbana.

La mala calidad del aire urbano es un problema con una importante vertiente local, pero también de magnitud regional, transfronteriza y planetaria. Algunos contaminantes pueden viajar largas distancias provocando efectos directos sobre la vegetación y efectos indirectos como la acidificación y la eutrofización de agua, suelo y ecosistemas. Además, las ciudades contribuyen de manera significativa a las emisiones de CO_2 y otros gases de efecto invernadero agravando el cambio climático.

2.3. Vulnerabilidad Social

El aire que una persona respira es la suma de las diferentes exposiciones a lo largo de un día y a lo largo de toda su vida. Existen dos tipos de exposiciones a la calidad del aire de interior y exterior. La exposición media de una persona a la calidad del aire se reparte entre estas dos categorías. A la calidad del aire interior la población está expuesta en su residencia y lugar de trabajo cuando este se realiza en el interior. A la calidad del aire exterior la población está expuesta básicamente en los tiempos de desplazamientos entre el trabajo y el domicilio, y algunos colectivos profesionales –aquellos que desarrollan su actividad en el exterior y dentro de un contexto urbano, como son jardineros,

conductores de autobús y taxistas, etc.- los niños que pasan amplios periodos de tiempo en parques y jardines, o las personas que realizan actividades físicas al aire libre.

2.3.1. Desigualdades y calidad del aire

La calidad de vida de la población está inevitablemente relacionada con las condiciones ambientales en las que vive, que a su vez están fuertemente relacionadas con variables de carácter socioeconómico y cultural. En el caso específico de la calidad del aire urbano son aún necesarios informes y estudios en profundidad que aclaren el impacto de la mala calidad del aire en los distintos grupos sociales. En el ámbito español, por ejemplo, los barrios de menos recursos de las ciudades, es decir, los barrios vulnerables, suelen situarse cerca de puntos de alta densidad de tráfico como las circunvalaciones urbanas y/o próximos a instalaciones industriales que emiten sustancias contaminantes. En el centro de las ciudades las densidades de población suelen ser muy altas y se observan en ellas elevadas concentraciones de NO_2 y de partículas asociadas al tráfico. Resulta también evidente que algunas profesiones conllevan una exposición al aire contaminado muy elevada como por ejemplo sería el caso de jardineros, barrenderos y conductores de autobuses urbanos.

> *Normalmente, las desigualdades ambientales vienen a redoblar las desigualdades socioeconómicas y perjudican a aquellos grupos sociales más pobres, vulnerables y marginados de la población que ya estaban perjudicados por peores posiciones en la distribución de ingresos o de capitales culturales y relacionales. Pobreza y discriminación suelen ser sinónimos. Los barrios de menor renta y en general, barrios vulnerables, de nuestras grandes ciudades sufren con frecuencia la presencia de una carga excesiva de industrias contaminantes, vertederos irregulares o ausencia de depuración de aguas residuales que se suman a la escasez de posibilidades culturales, sanitarias y de incorporación al mundo laboral (Proyecto Infancia y Medio Ambiente (INMA).*

Sin embargo, la mala calidad del aire no solo afecta a la población vulnerable en términos económicos y sociales. El ozono troposférico es un contaminante altamente nocivo en los meses de verano que se encuentra en zonas de la periferia urbana en donde residen población de clase media-alta. De modo que la calidad del aire afecta a toda la población pero de distinta manera y por distintos tipos de contaminantes.

La suma de las desigualdades sociales, económicas, ambientales y territoriales muestran que la calidad del aire tiene un impacto diferencial entre la población y en el modo en que afecta a su salud. Cuando estas desigualdades alcanzan un determinado umbral se puede hablar de discriminación ambiental y de la necesidad de justicia ambiental.

La desigualad ambiental, es en términos generales un fenómeno poco visible, ponerlo de manifiesto y reconocer su diversidad de causas, las distintas actividades que la generan y reproducen, es necesario y responde a una cuestion de justicia social. Las desigualdades ambientales son un fenómeno esencialmente transversal, que tiene que ver con la distribución, la producción y el consumo humano. Desde luego, una de las líneas más fructíferas para evitar el avance de estas desigualdades es generar información, dotar de formación y promover la participación de los más afectados y contar con ellos en el diseño y seguimiento de aquellas políticas públicas que generan estas desigualdades.

El movimiento por la justicia ambiental ha impulsado el auge de las indagaciones académicas y científicas en torno a la cuestión de la desigualdad ambiental.

2.3.2. Colectivos vulnerables

Los grupos más vulnerables frente a la contaminación atmosférica son los niños, los ancianos, las personas que padecen enfermedades crónicas respiratorias o cardiovasculares y las mujeres embarazadas. En este apartado, nos detendremos en el primer colectivo por ser además de vulnerables los que tienen que acarrear con los efectos producidos por la contaminación a más largo plazo.

Los niños son más vulnerables al entorno que los adultos, debido a su inmadurez anatómico-funcional (que sus sistemas neurológico, inmunológico y digestivo, junto con otros sistemas, están todavía en formación), a su mayor consumo energético-metabólico (necesidad de respirar más aire por unidad de peso que un adulto) y a su comportamiento social (sus patrones de conducta, -como gatear o colocarse objetos en la boca-, pueden implicar una mayor exposición a algunos contaminantes y pasar más tiempo al aire libre). Por ello su desarrollo físico, social e intelectual, desde su concepción hasta la adolescencia, requiere un ambiente protegido.

En el caso de la exposición a contaminantes atmosféricos, en que la exposición ocurre vía inhalación, la vulnerabilidad es mayor debido a que las vías aéreas y los alvéolos se están desarrollando todavía y los mecanismos de defensa son todavía inmaduros. Por otro lado, el niño suele pasar más tiempo en el exterior que los adultos y, además, hay que tener en cuenta que los niños, en términos relativos, inhalan el doble de aire que los adultos.

Estudios epidemiológicos han demostrado la asociación de la exposición prenatal a contaminación atmosférica con diversos efectos relacionados con el desarrollo fetal e incluso efectos teratogénicos. Para el bajo peso al nacer y retraso en el crecimiento intrauterino los resultados son compatibles con una relación causal.

En mayores, se asocia a la contaminación atmosférica factores inmunológicos, Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), asma y otras patologías respiratorias.

2.4. Coste económico de la contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica afecta a la salud humana, el medio ambiente, la agricultura, los edificios, los materiales y al patrimonio cultural. Los daños provocados (externalidades negativas) suponen unos costes económicos de los sectores responsables de la emisión de los contaminantes. Las externalidades negativas son los costes que recaen sobre la sociedad y el medio ambiente como consecuencia de una actividad económica que no están introducidos en la estructura de precios del producto que las ocasiona.

La valoración de los costes económicos de los daños que provoca la contaminación atmosférica en la Unión Europea fue realizada en el marco del Programa *Clean Air for Europe* (CAFE). La cifra global resultante para el año 2000 oscila entre los 280.000 y los 793.000 millones de euros en la UE-25. Para la estimación de los costes se consideraron, el impacto directo producido por la emisión de los contaminantes atmosféricos SO_2, PM, NO_x, NH_3, COV, sobre la salud de la población (275.836 – 789.878 millones de euros/año), ecosistemas (no estimado), agricultura (2.779,2 millones de euros/año) y materiales (1.130 millones de euros/año). En 2011 se publicó el informe "*Revealing the costs of air pollution from industrial falicities in Europe*". Este informe estima el coste del daño causado por las emisiones de las empresas del PRTR (Registros de Emisiones y Transferencias de Contaminantes) en 102-169 billones de euros.

A nivel comunitario también se calcularon los costes externos del transporte, uno de los sectores más implicados en la contaminación atmosférica en los entornos urbanos. Los costes externos totales del transporte se elevan a 650.275 millones de euros (año 2000), excluidos los costes de congestión, de los que el 27% corresponden a la contaminación atmosférica (174.617 millones de euros).

En España, la contaminación atmosférica, genera unos costes anuales de al menos 16.839 millones de euros aunque, según las estimaciones realizadas, la cifra podría llegar cerca de 46.000 millones (45.838). Ello supone que los costes derivados de la contaminación atmosférica representan como mínimo un 2,7% del PIB español, y entre 413 y 1.125 euros por habitante y año. Al igual que en el resto de Europa, los mayores costes están relacionados con la mortalidad crónica asociada a la contaminación por partículas.

Pero, los costes externos más importantes derivados de la contaminación atmosférica son los relacionados con la salud, concretándose en costes por afecciones respiratorias y cardiacas,

ingresos hospitalarios, consultas médicas, medicación, bajas laborales, restricción de actividades y fallecimientos. El coste total del impacto en la salud en la UE-25 se estimó en un rango comprendido entre 275.836 (estimación del menor coste) a 789.881 (estimación del mayor coste). Esta cifra representaba en el año 2000 entre el 3% y el 9% del Producto Interior Bruto de la UE-25 y unos 610-1.747 euros por habitante y año (teniendo sólo en cuenta dos contaminantes). Las partículas generan más del 97% de los costes sanitarios provocador por la contaminación atmosférica, mientras que los del ozono no alzanzan al 3%. La mortalidad provocada por la concentración de partículas prepresenta entre el 70% y el 89% de los costes sanitarios totales ligados a la contaminación atmosférica.

TABLA 2.4.1. Costes económicos de tipo sanitario asociados a la contaminación atmosférica en los países miembro de la UE-25 (millones de euros).

Estado miembro	Estimación menor coste	Estimación mayor coste
Alemania	57.741	169.760
Austria	4.573	12.582
Bélgica	10.301	29.115
República Checa	6.911	20.505
Chipre	267	561
Dinamarca	2.334	7.331
Eslovaquia	3.577	9.713
Eslovenia	1.333	3.625
España	**16.839**	**45.838**
Estonia	405	1.395
Finlandia	1.046	2.892
Francia	36.733	96.650
Grecia	5.513	16.410
Holanda	13.853	35.610
Hungría	7.928	28.493
Irlanda	1.109	2.702
Italia	38.578	115.102
Letonia	1.253	3.073
Lituania	1.108	4.774
Luxemburgo	310	746
Malta	205	457
Polonia	26.909	74.675
Portugal	3.784	11.418
Reino Unido	30.720	89.040
Suecia	2.506	7.414
UE-25	**275.836**	**789.881**

Fuente: CAFE CBA: Baseline Analysis 2000 to 2020. 2005

En la actualidad, el contaminante con un mayor impacto económico son las partículas (26.000-75.000 euros por toneladas emitida en UE-25), seguidas del NH_3 (11.000-31.000 euros por toneladas emitida en UE-25), SO_2 (5.600-16.000 euros por toneladas emitida en UE-25), y NO_x (4.400-12.000 euros por toneladas emitida en UE-25) y COVs (950-2.800 euros por toneladas emitida en UE-25).

TABLA 2.4.2. Costes económicos de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica en la UE-25.

Contaminante	Causa	Coste (millones de euros/año)
Ozono	Ingresos hospitalarios por causas respiratorias	28
	Días con restricción parcial de actividades	2.071
	Utilización de medicamentos para enfermedades respiratorias (niños)	20
	Utilización de medicamentos para enfermedades respiratorias (adultos)	8
	Tos y síntomas de insuficiencia respiratoria (niños)	4.152
	Coste total de la morbilidad asociada al ozono	**6.280**
Partículas (PM)	Bronquitis crónica	30.687
	Ingresos hospitalarios por causas respiratorias	124
	Ingresos hospitalarios por causas cardíacas	77
	Días con restricción de actividades	28.997
	Utilización de medicamentos para enfermedades respiratorias (niños)	4
	Utilización de medicamentos para enfermedades respiratorias (adultos)	26
	Síntomas de insuficiencia respiratoria, incluyendo tos, en niños	7.405
	Insuficiencia respiratoria en adultos con síntomas crónicos, incluyendo tos en niños	10.962
	Coste total de la morbilidad asociada a las partículas	**78.283**
Coste medio total de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica		**84.562**

Fuente:CAFE CBA: Baseline Analysis 2000 to 2020. 2005

TABLA 2.4.3. Costes económicos de la mortalidad asociada a la contaminación atmosférica en la UE-25.

Contaminante	Causa	Coste (millones de euros/año)
Ozono	Mortalidad aguda (muertes prematuras)	1.119 – 2.512
	Coste total de la mortalidad asociada al ozono	**1.119 – 2.512**
Partículas (PM)	Mortalidad crónica (pérdida de años de vida)	189.203 - 424.690
	Mortalidad crónica (muertes prematuras)	340.670 - 700.901
	Mortalidad infantil (0-1 años) (muertes prematuras)	952 - 1.903
	Coste total de la mortalidad asociada a las partículas	**190.155-702.804**
Coste medio total de la mortalidad asociada a la contaminación atmosférica		**191.274 – 705.316**

Nota: Para la valoración de los costes asociados a la contaminación por ozono se ha tenido en cuenta la media y la mediana. La valoración de los costes asociados a la contaminación por partículas se ha realizado con dos variables distintas: número de muertes prematuras y reducción de los años de vida (nº); para cada una de estas variables se ha calculado la media y la mediana. La estimación más elevada corresponde a la media de las muertes prematuras, mientras que la de menor coste corresponde a la mediana de años de vida perdidos.

Fuente: CAFE CBA: Baseline Analysis 2000 to 2020. 2005.

2.5. Marco regulador

La calidad del aire es una de las áreas en las que la Unión Europea se ha mostrado más activa en los últimos años. Su objetivo ha sido desarrollar una estrategia global a través del establecimiento de objetivos de calidad del aire a largo plazo. Con este fin, la Unión Europa ha promulgado una serie de Directivas (92/72/CEE, 96/62/CE, 99/30/CE, 2000/69/CE, 2002/3CE y 2004/107/CE) que introducen

el control de los niveles de ciertos contaminantes y la medición de sus concentraciones en el aire ambiente con el fin de proteger la salud humana.

En 1996, el Consejo Europeo adoptó la Directiva Marco 1996/62/CE sobre gestión y evaluación de la calidad del aire ambiente. Esta Directiva revisa la legislación previa sobre calidad del aire y se marca como objetivo la definición de valores límite (que podrían sobrepasarse en una cierta cantidad o margen de tolerancia) y umbrales de alerta para una serie de contaminantes, según un calendario determinado. Estos valores límite y umbrales se desarrollan a través de directivas hijas (las directivas 1999/30/CE, 2000/69/CE, 2002/3/CE y 2004/107/CE que fijaban los límites de los distintos contaminantes a considerar). Por motivos de claridad, simplificación y eficacia administrativa el 21 de mayo de 2008 se publica la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo relativa a la calidad del aire y una atmósfera más limpia en Europa. Esta nueva directiva sustituye a los anteriores actos normativos en una única directiva.

Los objetivos que presenta esta nueva Directiva suponen la unificación de los contemplados en las anteriores:

- definir y establecer objetivos de calidad del aire ambiente para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto.
- evaluar la calidad del aire ambiente en los Estados miembros basándose en métodos y criterios comunes.
- obtener información sobre la calidad del aire ambiente con el fin de ayudar a combatir la contaminación atmosférica y otros perjuicios y controlar la evolución a largo plazo y las mejoras resultantes de las medidas nacionales y comunitarias.
- asegurar que esa información sobre calidad del aire ambiente se halla a disposición de los ciudadanos.
- mantener la calidad del aire, cuando sea buena, y mejorarla en los demás casos.
- fomentar el incremento de la cooperación entre los Estados miembros para reducir la contaminación atmosférica

De acuerdo con la Directiva, la calidad del aire ambiente debe evaluarse en todo el territorio de los Estados miembros, siendo obligatorias las mediciones en las aglomeraciones de más de 250.000 habitantes y en las zonas donde las concentraciones rebasen el umbral superior de evaluación establecido para esos contaminantes. En los anexos de la Directiva se recogen tanto los valores límite y los umbrales de alerta como los criterios y técnicas para las mediciones (localización y número mínimo de puntos de toma de muestras, técnicas de medición y de toma de muestras de referencia) y el uso de otras técnicas de evaluación de la calidad del aire ambiente (por ejemplo la modelización).

La Directiva también establece que los Estados miembros elaborarán planes de calidad del aire (art. 23 Directiva 2008/50/CE) en determinadas zonas o aglomeraciones cuando los niveles de contaminante en el aire ambiente superaren cualquier valor límite o valor objetivo. Por otro lado, cuando en una zona o aglomeración existe riesgo de que el nivel de contaminantes supere uno o más de los umbrales de alerta, los estados miembros deberán elaborar planes de acción a corto plazo (art 24 Directiva 2008/50/CE).

Cuando los Estados miembros hayan elaborado un plan de acción a corto plazo, pondrán a disposición de los ciudadanos y de las organizaciones pertinentes, como las ecologistas, las de consumidores y las representantes de los intereses de los sectores vulnerables de la población, de otros organismos sanitarios interesados y de las federaciones profesionales pertinentes, los resultados de sus investigaciones sobre la viabilidad y el contenido de los planes de acción específicos a corto plazo y la información sobre la ejecución de esos planes.

Además, obliga a los Estados miembros a elaborar la lista de zonas y aglomeraciones en las que los niveles de uno o varios contaminantes superan los valores límite más el margen de tolerancia, cuando proceda, o superan los valores objetivo o los niveles críticos.

Cuando se supere cualquiera de los umbrales de alerta establecidos en la Directiva, los Estados miembros adoptarán todas las medidas necesarias para informar al público por radio, televisión, prensa o Internet y facilitarán a la Comisión, con carácter provisional, información sobre los niveles registrados y sobre la duración de los períodos durante los que se hayan superado los umbrales de alerta o de información.

Además, la Directiva describe las cuestiones sobre las que los estados miembros deberán mantener informada a la Comisión (niveles de contaminación, zonas afectadas, planes y programas elaborados, etc.).

Los valores límite y umbrales de alerta para la protección de la salud humana contemplados en la Directiva se refieren a SO_2, PM_{10}, $PM_{2,5}$, Pb, CO, NO_2, Benceno y Ozono. Junto con los valores límite u objetivo que no deben superarse, la directiva también marca, para determinados contaminantes, unos plazos a partir de los cuales su cumplimiento es obligatorio. Hasta la entrada en vigor del límite obligatorio, las directivas van marcando unos márgenes de tolerancia que son cada vez menores a medida que se aproxima la fecha de cumplimiento.

La legislación establece valores límites cada vez más rigurosos en el tiempo, tanto para los valores umbrales como para el número de superaciones. Dicha evolución va en consonancia con las evidencias científicas que muestran que ninguna concentración de contaminantes se puede considerar segura para la salud, por lo que se precisa de un control cada vez más riguroso de la calidad del aire.

En el ámbito español, la Ley de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera, aprobado el 19 de enero del año 2007 por el Consejo de Ministros, se enmarca en la Estrategia Española de Calidad del Aire. Esta ley está basada en los principios de prevención, de corrección en la fuente y de quien contamina paga. Su principal objetivo es reducir las emisiones contaminantes en los núcleos urbanos, especialmente las asociadas al transporte.

La tabla 2.4.4 muestra un panorama general de los diversos valores límite/objetivo de contaminación atmosférica para la protección de la salud.

TABLA 2.4.4. Valores límite y objetivo de contaminación atmosférica.

Compuesto	Valor límite/ objetivo/ umbral de alerta	Concentración	Nº superaciones máximas (más de)	Año de aplicación
PM_{10}	Media anual Media diaria	40 µg/m³ 50 µg/m³	35 días/año	2010 2010
$PM_{2.5}$	Media anual Media anual Índice de reducción exposición	25 µg/m³ 25 µg/m³ reducir un 20% en estaciones de fondo urbano		2010 (objetivo) 2015 (límite) media trienal 2008-2010 a 2018-2020
NO_2	Media anual Media horaria	40 µg/m³ 200 µg/m³	18 horas/año	2010
O_3	Media octohoraria Umbral de información Umbral de alerta	120 µg/m³ 180 µg/m³ 240 µg/m³	25 días/año	2010 En vigor En vigor

Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012.

En materia de calidad del aire el marco normativo de referencia a escala europea lo constituye; la legislación europea donde se fijan los valores límite y objetivo de calidad del aire para 2010 y que son aplicables a los países miembros. A nivel internacional, las guías de calidad del aire publicadas por la OMS con los objetivos para el material particulado (PM_{10}, $PM_{2,5}$), el ozono (O_3) y el dióxido de nitrógeno (NO_2) son la principal referencia, pero no tiene carácter vinculante.

*Las dos directivas europeas actualmente en vigor son la **Directiva europea 2004/107/CE** relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente, en su momento traspuesta por el RD 812/2007, y la **Directiva europea 2008/50/CE** relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa que sustituye a las Directivas 96/62/CE, 1999/30/CE, 2000/69/CE y 2002/3/CE, en su momento transpuestas al derecho español mediante los Reales Decretos 1073/2002 y 1796/2003.*

Estas dos directivas están incorporadas en la actualidad al derecho español por medio del RD 102/2011 que establece, entre otras, medidas destinadas a definir y establecer objetivos de calidad del aire ambiente para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto. Se fijan una serie de objetivos de calidad del aire para cada uno de los

contaminantes regulados, de manera que si se superan las administraciones competentes tienen que adoptar planes de actuación para reducir los niveles de dichos contaminantes y cumplir así con sus objetivos. Con respecto a los planes, independientemente de los que adopten las comunidades autónomas y las entidades locales, la Administración General del Estado puede elaborar Planes nacionales de mejora de la calidad del aire para aquellos contaminantes en que se observe comportamientos similares en cuanto a fuentes, dispersión y niveles en varias zonas o aglomeraciones.

Plan Nacional de Mejora de Calidad del Aire. *En el año 2011, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente publicó el Plan Nacional de Mejora de Calidad del Aire, actualmente en revisión, para apoyar en el cumplimiento de los valores límite de PM_{10} y NO_2 y la reducción simultánea de precursores de ozono. El objetivo del Plan es lograr el cumplimiento de los valores límite para todas las zonas en 2015 y mantener o mejorar los niveles en el resto, abordando una serie de sectores, como el tráfico/movilidad, la construcción/demolición o la actividad en puertos y aeropuertos, para los que plantea medidas que consigan una reducción de las emisiones de los principales contaminantes descritos y, en consecuencia, una mejora de la calidad del aire. Además va acompañado de un capítulo de concienciación y de un sistema de seguimiento para la cuantificación y seguimiento de las medidas propuestas.*

Guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS)*. Las guías de calidad del aire (GCA) de la OMS están destinadas a su uso en todo el mundo, pero se han elaborado para respaldar medidas orientadas a conseguir una calidad del aire que proteja la salud pública en distintas situaciones. Por otra parte, cada país establece normas de calidad del aire para proteger la salud pública de sus ciudadanos, por lo que son un componente importante de las políticas nacionales de gestión del riesgo y ambientales. En la guía de Calidad del aire revisada de 2005, la OMS establece como directriz de NO_2, 40 µg/m^3, media anual, como directriz de PM10, 20 µg/m^3, media anual y como directriz de O_3, 100 µg/m^3, media de ocho horas.*

3. LA CIUDAD: ¿UN MARCO DE VIDA SALUDABLE?

Las ciudades son un marco estratégico para un análisis de los procesos que en ellas tienen lugar en clave de sostenibilidad. Las ciudades españolas concentran al 75% de la población y es donde se producen las mayores emisiones de contaminantes por tráfico rodado. Todo ello convierte a la ciudad en un espacio especialmente relevante para el análisis de la calidad del aire.

Los procesos urbanos, como urbanización, transformación, densificación, dispersión o segregación, entre otros, tienen un importante peso en el modelo de desarrollo.

El modelo de desarrollo y en concreto, los procesos urbanos, generan un impacto en el medio ambiente, afectando especialmente a la calidad del aire y teniendo serias repercusiones en la salud de los ciudadanos. Por eso es pertinente plantearse si la ciudad constituye un marco de vida saludable.

Nos aproximaremos al análisis del modelo urbano de ciudad a través de su morfología urbana – el cuerpo físico de la ciudad, su estructura, edificios, viviendas, calles, avenidas, zonas verdes, equipamientos – y su metabolismo urbano, es decir el flujo de materiales, agua y energía, que según el mayor o menor cierre de ciclos supone un metabolismo más o menos eficiente.

Las ciudades no son sin más el telón de fondo donde ocurren los acontecimientos -urbanos- sino que son parte de los procesos (Lipietz, 1990). De ahí la importancia de conocer el tipo de ciudad que se ha construido y configurado por las relaciones sociales para saber las características que de ello derivan.

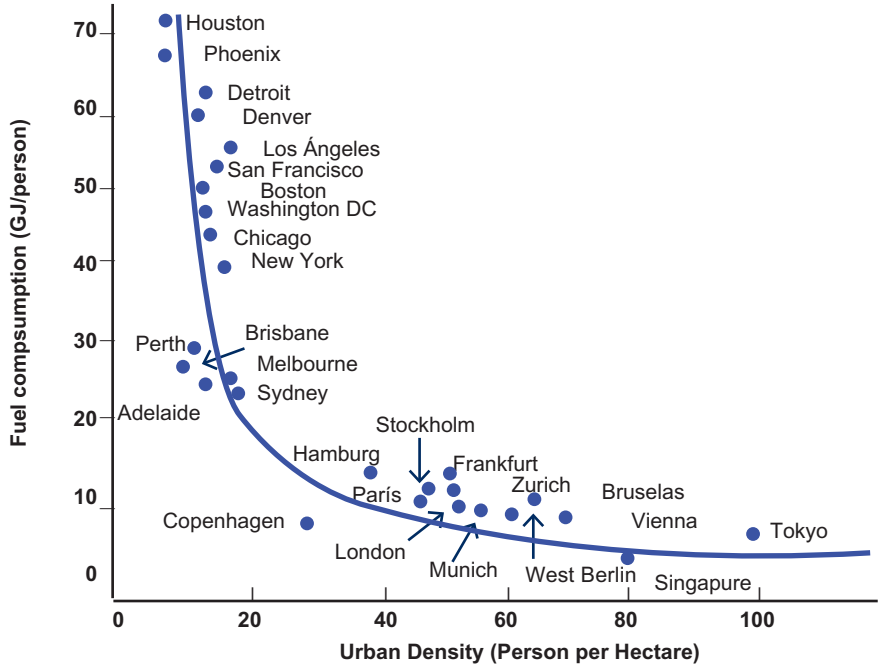
3.1. MODELO URBANO Y CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Los modelos urbanos son esquemas teóricos que buscan explicar de manera integrada los diversos componentes del mismo: “las modalidades de gobierno, los cambios en la formación social (régimen económico y morfología social), la producción del espacio y sus mecanismos de regulación” (Delgado, 2012).

Existe una clara relación entre el modelo urbano de una ciudad o área urbana y la contaminación atmosférica por diferentes factores. En primer lugar, la producción de espacio, es decir, la construcción física, puede fomentar o no la difusión territorial, fuertemente asociada a la utilización del vehículo privado, que como veremos en apartados posteriores afecta a la calidad del aire (Figura 3.1.1).

En segundo lugar, el planeamiento urbano como mecanismo de regulación incide en la calidad ambiental de los ámbitos urbanos y, por tanto, en la calidad del aire. En ausencia de planeamiento, o si existe una excesiva desregulación, se potencian los fenómenos como la difusión territorial. La planificación es una herramienta que también puede reducir la degradación de ciertos ámbitos urbanos, es decir, la configuración de barrios vulnerables. La vulnerabilidad urbana está asociada a cierta población en riesgo de exclusión social.

FIGURA 3.1.1. Reducción per cápita del consumo de combustible con el incremento de la densidad urbana en diversas ciudades del mundo.



Fuente: N.B. Grimm, *et al.,* Global Change and the Ecology of Cities, Science 319, 756 (2008). Citado en CCEIM, Fundación Conama y OSE (2009): *Cambio Global España 2020/50: Programa Ciudades: Hacia un pacto de las ciudades españolas antes el cambio global*.

Nota: Eje de ordenadas, consumo de gasolina (GJ/persona), eje de abscisas, densidad urbana (personas por hectárea).

Los problemas del modelo urbano pueden derivar en una polarización urbana y social, donde haya espacios vulnerables, donde a las desigualdades económicas y sociales, se añadan las ambientales. Estas desigualdades y su impacto en la salud de la población se hacen especialmente visibles en los barrios vulnerables.

El modelo urbano está relacionado con la contaminación atmosférica a través de las modalidades de gobierno, y de las políticas que se apliquen: la calidad del transporte público, la intermodalidad del transporte, el cierre del tráfico en las zonas centrales de la ciudad, el calmado del tráfico, la existencia de aparcamientos disuasorios en torno al centro de las ciudades, entre otras cuestiones, son políticas públicas, que pueden fomentar una mejor calidad del aire o por el contario generar mayor contaminación atmosférica.

A continuación nos detendremos en dos características del modelo urbano de las ciudades españolas: la expansión urbana descontrolada y la vulnerabilidad urbana.

3.2. Expansión urbana descontrolada (*Urban Sprawl*) y contaminación atmosférica

La expansión urbana descontrolada o *urban sprawl* es sinónimo de un aumento de desarrollo urbano no planificado, y caracterizado por la baja densidad de usos en la periferia urbana (EEA, 2006:5).

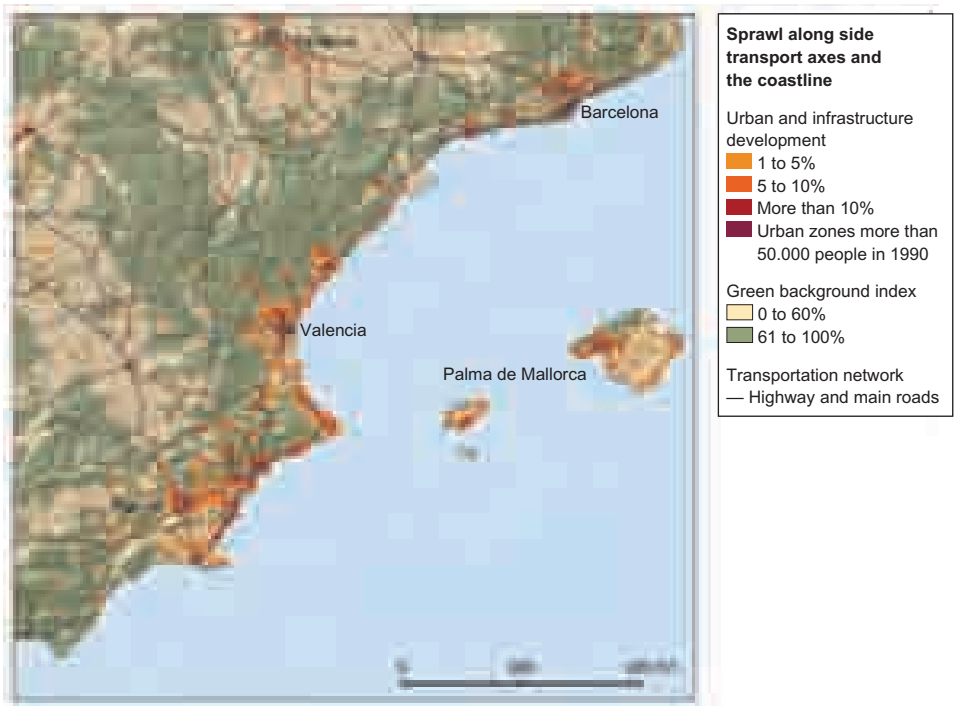
Además, como indica la Agencia Europea de Medio Ambiente, las áreas urbanas del sur, este y centro de Europa están especialmente en riesgo por la tendencia al aumento de la expansión urbana descontrolada (EEA, 2006:5).

En España, al igual que en el contexto europeo, las ciudades han sido tradicionalmente compactas y densas, pero esta característica ha cambiado drásticamente ya que en la actualidad, la mayor parte de los usos urbanos corresponden al tejido urbano discontinuo, según la metodología CORINE

Land Cover. En concreto “en 1987, la superficie del tejido urbano continuo (253.620 ha) superaba al tejido urbano discontinuo (230.640 ha), y una parte del tejido urbano difuso era de carácter tradicional (como sucede en la cornisa norte de España). A mediados de los años noventa, la superficie de tejido urbano difuso superó a la del tejido urbano continuo, por lo que en el año 2000, el tejido urbano difuso (272.066 ha) superaba ligeramente al tejido urbano continuo (284.837 ha)” (OSE, 2010:320).

Por ello, además del importante aumento de las superficies artificiales, según el proyecto CLC, de un 51,87% de 1987 a 2006, se observa también que se ha transformado radicalmente el modelo de ciudad adoptado, pasando de tener una ciudad compacta, que en usos de suelo se corresponde con el tejido urbano continuo, a una ciudad difusa, en este caso, correspondiente al tejido urbano discontinuo (OSE, 2010:320) (Figura 3.2.1).

FIGURA 3.2.1. Expansión urbana descontrolada en la costa mediterránea: sureste de españa 1990-2000.



Fuente: EEA, 2006:10.

Leyenda: Expansión a lo largo del eje del transporte y la línea costera; desarrollo urbano y de infraestructuras; índice de área natural; red de transporte.

El papel de la difusión urbana en el territorio está relacionado con el aumento de la movilidad, y debido al tipo de movilidad inducida, con el empeoramiento de la calidad del aire. Las emisiones de sustancias químicas producidas por los automóviles constituyen la mayor fuente de contaminación atmosférica en la actualidad, principalmente por el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no quemados, ozono y otros oxidantes fotoquímicos, como el plomo y, en menor proporción partículas y compuestos orgánicos volátiles. Dentro de ese contexto, es clara la influencia que ejerce el uso intensivo de vehículos en las ciudades sobre los niveles de emisión de gases y partículas contaminantes (Ver apartado 3.4).

En algunos casos, la configuración de áreas urbanas de gran entidad no hace más que generar una matriz de áreas residenciales y económicas con una relación funcional, pero no de continuidad lo que empeora la calidad del aire de dichas zonas por la confluencia de gran número de factores, entre los que destaca la movilidad forzada residencia-trabajo.

Las inmisiones de gases y partículas se distribuyen sobre las áreas urbanas de una forma diferencial, no siempre los peores niveles de contaminación se encuentran sobre el área urbanizada. Las acciones del viento tienen gran influencia en la dispersión de los contaminantes y pueden deformar y extender las manchas por varios kilómetros.

Se están desarrollando muchas urbanizaciones de forma difusa en los alrededores de ciudades, como por ejemplo Madrid o Barcelona, a una distancia suficiente para depender y utilizar las infraestructuras y servicios ofertados por la capital, pero insuficientemente alejado para no estar influenciado por el aire contaminado resultante de la existencia de áreas urbanas.

La creencia de que al alejarse del centro de las ciudades el aire es más limpio, no se cumple, ya que las periferias se encuentran en el área de influencia, en especial, de contaminantes como el ozono troposférico.

La construcción de la periferia supone un fuerte proceso de incremento de zonas artificiales, lo que tiene como consecuencia un incremento significativo de las emisiones de gases originadas del tráfico pesado en las carreteras radiales a los núcleos urbanos.

Es importante destacar que la atmósfera al actuar como medio difusor provoca la dispersión de la contaminación del aire de las ciudades hacia medio rural, convirtiendo la contaminación atmosférica en un problema que no solo afecta a las grandes concentraciones urbanas.

3.3. Vulnerabilidad urbana y exposición a la contaminación del aire: una cuestión de justicia ambiental

La vulnerabilidad urbana constituye, junto con la expansión urbana descontrolada, una problemática en la ciudad que cada vez cobra mayor importancia.

Una de las cuestiones que van adquiriendo cada vez mayor interés es, por tanto, mostrar si existe una relación entre los barrios más deprimidos o vulnerables –en España aquellos con peores tasas de paro, de población sin estudios o de infraviviendas– y la mala calidad del aire, en especial por NO_2 y $PM_{10.}$ La peor calidad ambiental de esos barrios vulnerables es una cuestión de justicia ambiental, ya que asistimos a la paradoja de que la población con menos recursos, también es por su estilo de vida y pautas de consumo las que menos emisiones de contaminantes realiza y sin embargo la que padece en mayor medida su impacto, sobre todo en lo que se refiere a Partículas y NO_2.

A continuación se expone lo que se entiende por el concepto de justicia ambiental, el binomio población que vive en barrios vulnerables y calidad del aire, y en especial, la contaminación urbana por transporte y exclusión social, además de analizar la realidad de los barrios vulnerables en España, y su metodología de análisis. Y por último, se intenta hacer una primera aproximación sobre esta situación en el caso del municipio de Madrid, para lo cual se identifican los barrios vulnerables y se analiza si la calidad del aire de estos barrios varía considerablemente con respecto a otros barrios clasificados como no vulnerables.

3.3.1. Justicia ambiental en el contexto del desarrollo sostenible: justicia social y equidad ambiental

En los últimos años, el concepto de justicia ambiental, unido a los conceptos de equidad ambiental y justicia social, ha adquirido mayor importancia en el contexto del desarrollo sostenible. Todos estos conceptos están unidos a otros como la calidad del medio ambiente, y las medidas políticas asociadas calidad ambiental, y su relación con los diferentes grupos sociales, caracterizados estos por renta o raza, entre otras cuestiones, como se indica en el informe bajo el clarificador título de *Calidad del Aire y Vulnerabilidad social en el Reino Unido: un análisis de las desigualdades medioambientales (Air Quality and Social Deprivation in the UK: an environmental inequalities analysis)* (DEFRA, 2006).

El concepto de justicia ambiental es reconocido en los EE.UU., desde hace muchos años, centrándose principalmente en los riesgos ambientales desproporcionados que tienen que afrontar los grupos minoritarios ubicados principalmente en los barrios donde residen mayoritariamente la población negra. En el Reino Unido, este tipo de investigación es relativamente reciente y se está centrando

básicamente en las desigualdades ambientales que sufren comunidades que se caracterizan por sufrir distintos niveles de privaciones materiales.

En cualquier caso, el concepto de justicia ambiental lleva implícito las siguientes cuestiones:

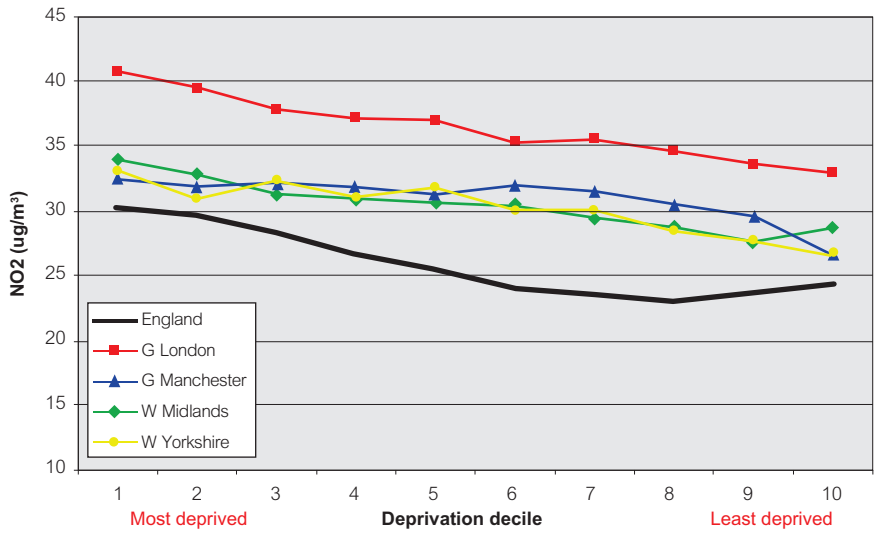
- Hablar de comunidades deprimidas, excluidas o vulnerables que experimentan impactos negativos de carácter ambiental de forma desproporcionada con respecto a otros grupos y valorar si las políticas actuales están encaminadas a reducir estas desigualdades.
- El acceso a la información ambiental y participación en la toma de decisiones de todo aquello que afecte a la calidad ambiental en relación a los grupos sociales y las comunidades.

Este bloque del presente informe está centrado en el primer concepto, con la única pretensión de invitar a que se inicie una línea de investigación en este campo, ya que como ha dicho anteriormente, no es una cuestión de meras desigualdades (ambientales, que se suman a las económicas y sociales) sino de justicia social.

3.3.2. Población vulnerable y calidad del aire

En el citado informe sobre vulnerabilidad urbana y calidad del aire en Reino Unido (DEFRA, 2006) se muestra cómo en algunas regiones como Escocia e Irlanda del Norte las comunidades con distintos niveles de vulnerabilidad se enfrentan a distintos niveles de calidad ambiental, siendo uno de los factores analizados la calidad del aire. El estudio realizado para el Reino Unido concluye que la población que se encuentra en zonas deprimidas tiene más probabilidades de experimentar peor calidad del aire que aquellas que viven en áreas menos deprimidas. Esto se comprobaba para el NO_2, el benceno, CO, PM_{10}, y se concluía afirmando que se producía una coincidencia entre las zonas con superaciones y las zonas deprimidas (Figura 3.3.1). Como se observa, en el caso de Inglaterra la contaminación por NO_2 en los barrios más vulnerables es mayor, en torno a un 50%, de la que existe en los barrios menos vulnerables.

FIGURA 3.3.1. Comparación de la concentración media de NO_2 por decilas entre áreas seleccionadas de Inglaterra y el total de Inglaterra.



Fuente: DEFRA, 2006:52.

Nota: 1, áreas más deprimidas o vulnerables, 10, áreas menos vulnerables. Áreas estudiadas: Inglaterra (total), Greater London, Greater Manchester, West Midlands y West Yorkshire.

En esta línea, Mitchel and Dorling (2003) concluyeron para el análisis desarrollado en el caso de Inglaterra lo siguiente:

1. Que los pobres estaban desproporcionalmente más afectados por la mala calidad del aire, sobre todo medida como concentraciones de NO_2.
2. Que los grupos más desfavorecidos sufrían más los costes de la contaminación que los grupos menos desfavorecidos.

También en el citado informe (DEFRA, 2006) se refleja otro estudio del mismo autor (Mitchel, 2005) sobre la distribución de NO_2 en la ciudad de Leeds de Reino Unido. Se encontró que eran las comunidades más deprimidas o vulnerables las más expuestas a este contaminante. Además, el estudio demostró que la reducción de contaminación atmosférica conducía a una reducción de las desigualdades ambientales.

Por tanto, se puede concluir que el impacto en la salud de la contaminación atmosférica no se extiende uniformemente por toda la población. El *Environmental Audit Committee* (EAC) también indicó que los resultados preliminares indican que para Inglaterra la mala calidad del aire está asociada con áreas de bajos ingresos, bajo ratio de empleo y el nivel educativo más bajo (con indicadores similares a los que determinan los barrios vulnerables en España), con diferencias en la exposición a la contaminación del aire entre los diferentes grupos étnicos.

Según el *Small Area Health Statistics Unit* (SASHU) del Imperial College los grupos más vulnerables fueron expuestos a NO_2 hasta un 50% más que los grupos menos expuestos. Además, las desigualdades de salud vinculadas a la contaminación por combustión (principalmente tráfico urbano) son hasta el doble en el caso del PM_{10} (CLC, 2012).

Por tanto, se puede concluir que el impacto en la salud de la contaminación atmosférica no se extiende uniformemente por toda la población.

3.3.3. Contaminación urbana por transporte y exclusión social

La relación entre contaminación urbana por transporte y exclusión social ha sido analizada de manera extensa en Reino Unido a través del citado informe de DEFRA (2006).

En DEFRA (2006) se analiza la contaminación debida al transporte y el nivel de vulnerabilidad de la población de las áreas en las que ocurre. Según este informe las áreas más deprimidas experimentan niveles medios desproporcionadamente más altos de NO_2 y PM_{10} que las áreas menos deprimidas. Mitchell and Dorling (2003) analizaron los propietarios del parque automovilístico, y demostraron que *las concentraciones más altas de contaminantes se encuentran en las áreas más deprimidas que son además las que menos vehículos en propiedad detentan y que además suelen ser menos contaminantes*.

Estos resultados muestran una nueva línea de investigación sobre equidad en el campo de la contaminación atmosférica debida al tráfico rodado, y muestran que son las clases sociales más pobres las que padecen las consecuencias de la contaminación atmosférica cuando son las capas de la sociedad más ricas las que más contribuyen a generarlo.

En esta línea de relacionar el espacio social de las comunidades más vulnerables con mayores índices de contaminación, múltiples investigaciones han mostrado que las zonas industriales se ubican en las áreas más deprimidas y que éstas están próximas a su vez a autopistas o autovías (DEFRA, 2006).

3.3.4. Estudio de caso: la ciudad de Madrid

En Reino Unido, se analizan los barrios deprimidos o vulnerables y para ello el estudio DEFRA (2006), utiliza un índice múltiple de vulnerabilidad, que combina varios indicadores (ingresos o renta, salud, desigualdades ambientales, la vivienda y el acceso a servicios y vivienda) en un único valor. Es importante señalar que se incluyan datos de salud, lo que implica incorporar de manera indirecta datos de carácter ambientales, por el origen ambiental de gran número de enfermedades.

Tras esta breve descripción, resulta de interés conocer la aproximación a la vulnerabilidad que se realiza en España, donde este concepto se define como:

> "aquel proceso de malestar en las ciudades producido por la combinación de múltiples dimensiones de desventaja, en el que toda esperanza de movilidad social ascendente, de superación de

su condición social de exclusión o próxima a ella, es contemplada como extremadamente difícil de alcanzar. Por el contrario, conlleva una percepción de inseguridad y miedo a la posibilidad de una movilidad social descendente, de empeoramiento de sus actuales condiciones de vida" (*Observatorio de la Vulnerabilidad Urbana,* 2011a).

A este respecto existe un interesante estudio sobre los barrios vulnerables, que incluye las capitales de provincia y las ciudades de más de 50.000 habitantes, realizado por el Observatorio de la Vulnerabilidad Urbana, al amparo del Ministerio de Fomento. Para delimitar los barrios vulnerables en las ciudades se introducen indicadores de carácter socio-económico, en concreto:

"Se toman tres Indicadores que permiten caracterizar la Vulnerabilidad Urbana a partir de la información estadística disponible a nivel de sección censal en los Censos de Población y Vivienda: *Tasa de paro, Porcentaje de población analfabeta y sin estudios; y Carencias en las viviendas* (sin agua corriente, wc, baño o ducha en 1991; y sin servicio o aseo, en 2001); a los que se añade un cuarto (*Tasa de inmigración*) en la Adenda de 2006. La Vulnerabilidad se detecta cuando estos valores superan los valores de referencia [al menos un indicador, ya sea un paro superior en un 50% a la media nacional (28%), población analfabeta o sin estudios superior en un 50% a la media nacional (28%) o viviendas sin aseo o baño o agua potable en una tasa doble a la media nacional, 2% sin aseo, 3% sin retrete y 5% sin baño o ducha en la vivienda][1], con respecto a la media nacional" (*Observatorio de la Vulnerabilidad Urbana,* 2011b).

Como se observa, no se han incluido indicadores de calidad ambiental, de manera directa o indirecta (como la salud) sino de calidad del hábitat, con la referencia a infraviviendas. De esta manera se elige un indicador concreto y disponible, aunque resulta también de interés la valoración que se hace en el informe DEFRA (2006) sobre acceso a servicios y a vivienda, ya que incluye no solo el tejido residencial sino también el dotacional. Además, respecto al índice utilizado por DEFRA (2006) no se ha incluido renta sino de manera indirecta tasa de paro, lo que para el caso español supone un dato clave.

Además, incluye un indicador social clave para la detección de barrios vulnerables, como es la población analfabeta y sin estudios.

Por tanto, la línea que se ha seguido en España ha sido la de valorar datos socioeconómicos de los que existe información estadística periódica, eligiendo indicadores clave que diferencian los barrios de manera clara, a través de unos umbrales estadísticos marcados. Cabe destacar que en España no se ha analizado la vulnerabilidad urbana a través de un gradiente, como se analiza en DEFRA (2006), sino a través del cumplimiento o no de una cierta característica, por lo que solo hay una clasificación de barrios vulnerables o no vulnerables.

Como se ha indicado antes, se elige un estudio de caso para analizar la evolución de la vulnerabilidad urbana y su relación con la contaminación atmosférica, como es el caso de la ciudad de Madrid.

Resulta de sumo interés conocer la existencia de barrios vulnerables en la ciudad y cómo han aumentando su número en los últimos años. Como se observa, en el contexto regional, en los municipios de más de 50.000 habitantes de la Comunidad de Madrid, en el periodo 1991-2001, ha habido un aumento exponencial de barrios vulnerables en tan solo una década y en gran parte en un periodo con crecimiento económico.

"De las 17 ciudades analizadas, en seis de ellas, Alcobendas, Collado Villalba, Majadahonda, Rivas-Vaciamadrid, Las Rozas y San Sebastián de los Reyes, no se ha delimitado ningún barrio vulnerable, aunque en las dos primeras sí existían secciones censales de población vulnerable, que no llegaron a conformar un barrio homogéneo de más de 3.500 habitantes. De esta forma, en la Comunidad de Madrid se han delimitado 101 Barrios Vulnerables en 11 ciudades, mientras

[1] "Los criterios seguidos para la delimitación de los barrios fueron, que tuviesen continuidad espacial, que contasen con una población entre 3.500 y 15.000 habitantes y que al menos tuviesen uno de los siguientes indicadores de vulnerabilidad:

- Tasa de paro superior en un 50% a la media nacional (28%)
- Población analfabeta o sin estudios superior en un 50% a la media nacional (28%)
- Viviendas sin aseo o baño o agua potable en una tasa doble a la media nacional: 2% sin aseo, 3% sin retrete,

5% sin baño o ducha en la vivienda" (Observatorio de la Vulnerabilidad Urbana, 2011c: 5), (Observatorio de la Vulnerabilidad Urbana, 2011d: 4), (Observatorio de la Vulnerabilidad Urbana, 2011d: 2).

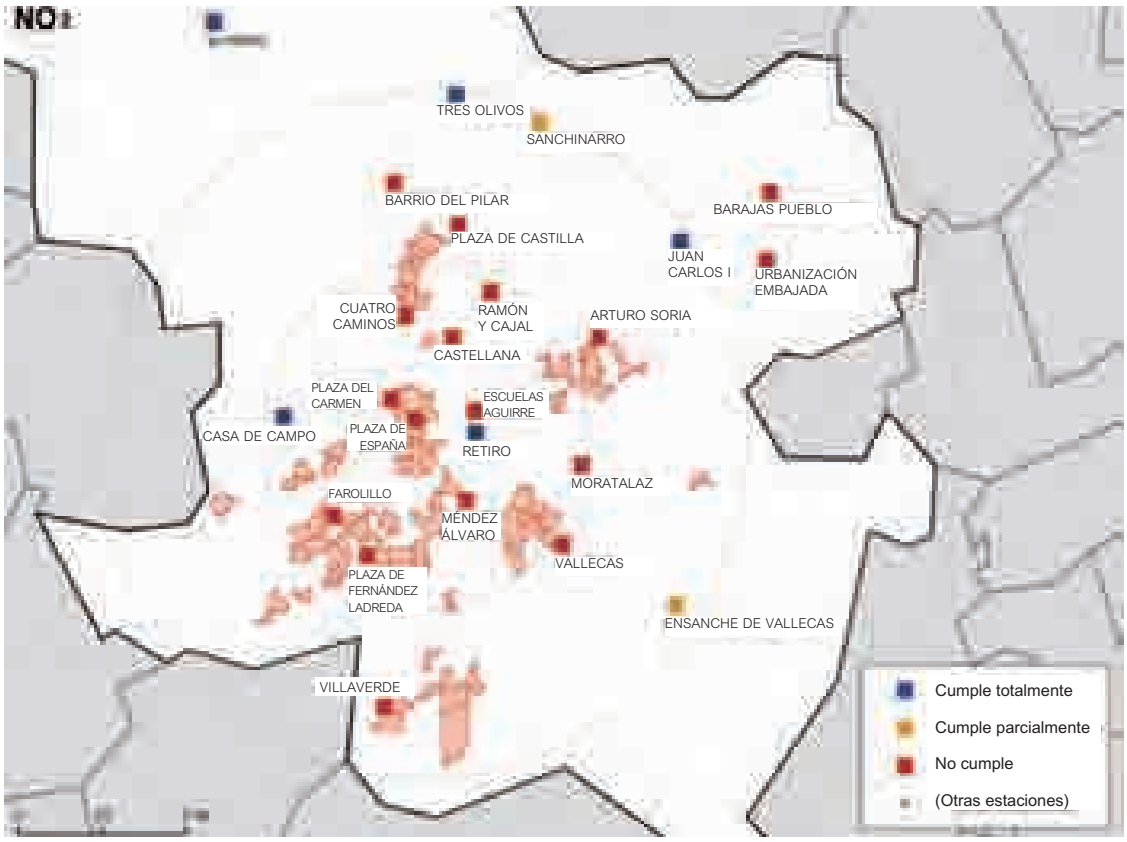
que en el Catálogo de 1991 se delimitaron 24 barrios en 2 ciudades, Madrid y Alcalá de Henares" (*Observatorio de la Vulnerabilidad Urbana,* 2011b:189).

En el año 2006 en un momento de máximos de crecimiento económico, el número de barrios vulnerables había aumentado en la Comunidad de Madrid hasta los 111 barrios vulnerables (2011f:22), en las siguientes ciudades, por orden alfabético, Alcalá de Henares, Alcobendas, Alcorcón, Collado Villalba, Coslada, Fuenlabrada, Getafe, Leganés, Madrid, Majadahonda, Móstoles, Parla, Pozuelo de Alarcón, Las Rozas de Madrid y Torrejón de Ardoz.

Asistimos por tanto a la paradoja de que el ciclo de crecimiento económico no ha servido para reducir el número de barrios vulnerables sino que los ha aumentando generando una mayor polarizacion urbana, como pone en evidencia esta aproximación al estudio de caso de Madrid.

Con el objeto de ver si existe alguna relación entre barrios vulnerables y calidad del aire, se ha procedido a cruzar los datos de estaciones de medición de la calidad del aire para Madrid para los contaminantes NO_2, PM_{10}, $PM_{2,5}$ y O_3 con la delimitación de barrios vulnerables, se obtienen datos de interés.

FIGURA 3.3.2. Barrios vulnerables de Madrid (2006) y niveles de NO_2 en estaciones de medida (2011).



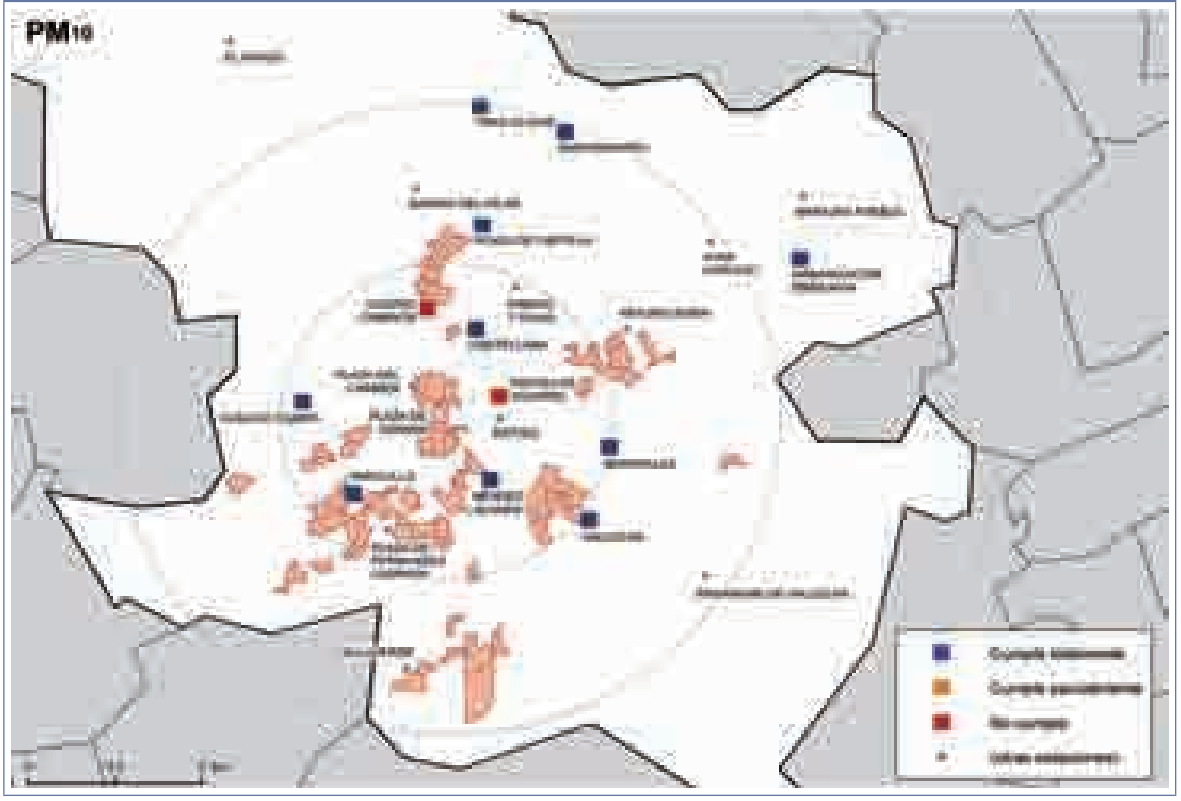
Fuente: Elaboración propia OSE a partir de datos del Ayuntamiento de Madrid y Observatorio de la Vulnerabilidad Urbana (2011), según datos del Ministerio de Fomento. Nota: Últimos datos disponibles en cada caso. Azul: cumplimiento con la media anual de los promedios diarios (40 µg/m³) y nº de días en los que se ha superado el valor máximo de una hora (200 µg/m³) máx. 18 días. Amarillo: cumplimiento con la media anual de los promedios diarios pero no con las superaciones y Rojo: estaciones que no cumplen ni con la media anual de promedios diarios ni con las superaciones.

En el caso del NO_2 (Figura 3.3.2), se observa que existe un importante nivel de contaminación en gran número de estaciones, concentrándose básicamente en el centro de la ciudad afectando a un gran número de barrios vulnerables.

En concreto, las estaciones que marcan los peores valores (medias diarias mayores de 40 µg/m^3 y más de 18 días de superaciones de valores de 200 µg/m$^{3)}$ se encuentran en barrios vulnerables y con un entorno de barrios vulnerables como la Plaza de Fernández Ladreda (63,2 µg/m^3 y 103 días de superaciones) o Cuatro Caminos (63,2 µg/m^3 y 103 días de superaciones), por citar solo algunos, aunque también es verdad que existen otros barrios no vulnerables que por su cercanía a importantes vías de comunicación tienen valores altísimos como el Barrio del Pilar (49,3 µg/m^3 y 98 días de superaciones) o Ramón y Cajal (53,8 µg/m^3 y 86 días de superaciones). Ver **tabla 4.4.2**.

Las zonas residenciales sin barrios vulnerables, y lejanos a viales de alta intensidad de tráfico no arrojan malos datos de calidad de aire para NO_2, como reflejan las estaciones de Tres Olivos (38,8 µg/m^3 y sin días de superaciones) o Retiro (36,6 µg/m^3 y sin días de superaciones).

FIGURA 3.3.3. Barrios vulnerables de Madrid y niveles de PM_{10} en estaciones de medida (2011).

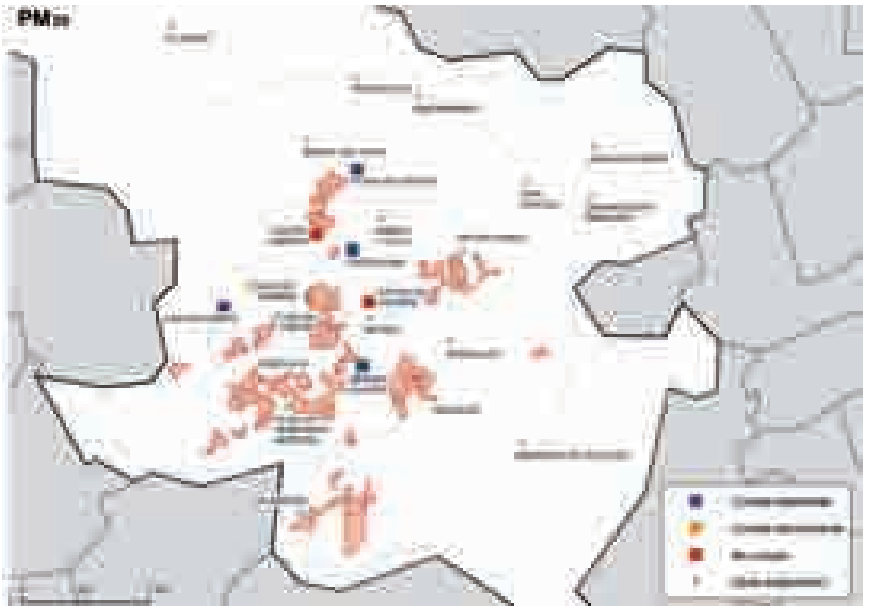


Fuente: Elaboración propia OSE a partir de datos del Ayuntamiento de Madrid y Observatorio de la Vulnerabilidad Urbana (2011), según datos del Ministerio de Fomento. *Nota*: Últimos datos disponibles en cada caso.

En el caso de PM_{10}, así como para $PM_{2,5}$ (**Figuras 3.3.3** y **3.3.4**) las escasas estaciones para este contamínate impiden analizar la calidad del aire en los barrios vulnerables. Las estaciones de medición pasan de 24, que hay para NO_2, a 12 y 6, para PM_{10} y $PM_{2,5,}$ respectivamente, y en gran medida, están ubicadas en relación a importantes vías de comunicación, como la calle 30 (M-30).

En todo caso, las estaciones arrojan datos positivos para $PM_{2,5}$ en todas las estaciones, y en el caso de $PM_{10,}$ la única estación que tienen una media anual mayor que la permitida es Escuelas Aguirre, con 38 superaciones, y que se encuentra junto a una importante vía de comunicación. Ver **tabla 4.4.3** y **4.4.4**.

FIGURA 3.3.4. Barrios vulnerables de Madrid y niveles de $PM_{2,5}$ en estaciones de medida (2011).

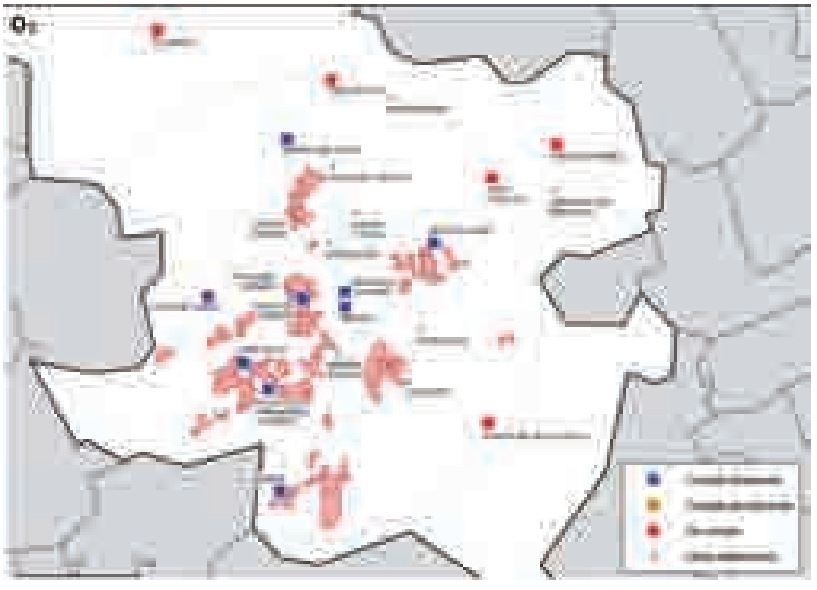


Fuente: Elaboración propia OSE a partir de datos del Ayuntamiento de Madrid y Observatorio de la Vulnerabilidad Urbana (2011), según datos del Ministerio de Fomento. *Nota*: Últimos datos disponibles en cada caso.

El Ozono Troposférico: el contaminante que afecta a la población que reside en barrios no vulnerables

A diferencia de los contaminantes antes estudiados, se puede destacar que no existe vinculación alguna entre los barrios vulnerables y los altos niveles de concentración de ozono troposférico, O_3, en el estudio de caso (Figura 3.3.5).

FIGURA 3.3.5. Barrios vulnerables de Madrid y niveles de O_3 en estaciones de medida (2011).



Fuente: Elaboración propia OSE a partir de datos del Ayuntamiento de Madrid y Observatorio de la Vulnerabilidad Urbana (2011), según datos del Ministerio de Fomento. Nota: Últimos datos disponibles en cada caso. Azul: cumple con la normativa de la UE (nº de días que se superan los 120 µg/m³ de las medias móviles octohorarias –máximo 25 días–) Rojo: No cumple con el límite de superaciones establecidos para la UE.

En el caso de este contaminante se puede comprobar que afecta a todo tipo de población, y especialmente a aquella que se encuentra en la periferia de las ciudades. En el caso de estudio de Madrid, ciudad a la que se corresponde el análisis, las zonas más afectadas por la alta concentración de ozono troposférico son el arco noroeste y noreste, donde no se encuentran los barrios vulnerables. En concreto, las estaciones que marcan valores límites objetivos que superan el umbral de alerta (25 días/año por encima de 120 µg/m^3) son por orden Juan Carlos I (41 días/año), Tres Olivos (36 días/año), Barajas Pueblo (30 días/año), Ensanche de Vallecas (30 días/año), y El Pardo (30 días/año) (Figura 3.3.5), destacando que dos de ellos son grandes parques donde se practica deporte, cuestión que puede agravar los efectos de la contaminación (por la mayor entrada del contaminante en el organismo en la respiración).

Además, cabe destacar que los altos niveles de ozono troposférico que se dan en la periferia de Madrid se concentran en los municipios con mayor nivel de renta de la Comunidad de Madrid, y en algún caso, como Pozuelo de Alarcón, de España. Ver tabla 4.4.5.

Por otra parte, en el estudio sobre calidad del aire y vulnerabilidad urbana (DEFRA, 2006) que se ha citado ampliamente durante el análisis de barrios vulnerables, no se ha hecho referencia a este tipo de contaminante, por lo que los resultados podrían ser matizados, ya que los contaminantes que elige son aquellos que más específicamente inciden en los barrios vulnerables tales como el NO_2 y el PM_{10}.

Por tanto, el hecho de que no se incluya en el citado estudio de referencia el O_3, que es en la actualidad el contaminante que arroja peores datos para las ciudades españolas –sobre todo por la distancia a objetivos y por la previsión de una mayor incidencia en el futuro por el cambio climático (ver apartado 3.7)– hace que, como se ha indicado, deban matizarse en parte los resultados de DEFRA (2006) para el Reino Unido, porque no contempla este contaminante, pero no el hecho generalizado de que exista una mayor incidencia de la contaminación del aire en los barrios más vulnerables.

Como se ha referenciado anteriormente, existe cierta vinculación entre algunos de los contaminantes que se dan en las ciudades, especialmente NO_2, y los barrios vulnerables, aunque no exista información para poder establecer patrones en la contaminación por partículas en el caso de estudio (figuras 3.3.3 y 3.3.4), cuestión que en Reino Unido sí ha sido demostrada. Sin embargo, para el estudio de caso, el O_3 afecta más a barrios no vulnerables, en la periferia de la ciudad. Por tanto, se puede concluir que la mala calidad del aire afecta a toda la población.

Otra cuestión de interés a analizar sería la población más susceptible a la contaminación del aire (población infantil, ver apartado 4.4 sobre colegios, y mayores de 65 años) en el propio contexto de los barrios vulnerables, que serían los mayores perjudicados del espacio social.

Por todos estos motivos, los estudios y análisis de barrios vulnerables deberían introducir variables ambientales, entre ellas la calidad del aire. La batalla contra las desigualdades se debe afrontar no solo en los ámbitos socio-económicos sino también en los ambientales, donde cuesta más visibilizar las desigualdades.

3.4. Impacto del sector transporte en la calidad del aire urbano

Los cambios en el medio ambiente, en general, y en el atmosférico, en particular, son consecuencia de una serie de actuaciones de fuerzas motrices que inciden sobre el estado del entorno mediante impactos asociados. Así, las fuerzas impulsoras del cambio se relacionan con un variado número de factores de desarrollo demográfico, económico, sociocultural, tecnológico y político, los cuales, además, están directa o indirectamente vinculados entre sí por múltiples lazos y relaciones de causa-efecto, algunas de ellas directas, pero otras muchas indirectas, menos visibles y complejas.

El aumento de la población, el crecimiento económico o el cambio en las preferencias sociales y hábitos más consumistas, suelen generar presiones ambientales adicionales, a menos que se puedan contrarrestar mediante mejoras tecnológicas, ganancia neta de ecoeficiencia productiva (para disociar el crecimiento del impacto ambiental) o cambios de conducta más responsables para un consumo más racional.

Además, hay que tener en cuenta que aparte de los vínculos entre las fuerzas motrices y los impactos, los mismos cambios ambientales suelen interactuar entre sí y también repercuten en las

propias fuerzas motrices. Por ejemplo, las emisiones de gases de efecto invernadero, que originan el cambio climático y están muy vinculadas al sector energético, pueden ver incrementado su impacto o incluso reducido por otras emisiones de las mismas fuentes como las partículas y el dióxido de azufre.

Una cuestión clave para mejorar la calidad de vida y los procesos de sostenibilidad urbana es comprender con mayor precisión las interacciones entre las fuerzas motrices que originan las emisiones de contaminantes a la atmósfera y cómo se pueden aplicar políticas efectivas de mitigación de emisiones en la fuente mediante instrumentos legales, económicos y de corresponsabilidad social.

El sector transporte tiene un papel protagonista en las emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes en general, al igual que resulta clave para atender las necesidades sociales crecientes y facilitar modelos de movilidad sostenible mediante su reestructuración estratégica. Por otro lado, las infraestructuras de transporte inciden notablemente en el uso de suelo produciendo una fragmentación del territorio que puede repercutir negativamente en la pérdida de biodiversidad y determinadas actividades agrarias, que a su vez repercuten en la emisión de gases de efecto invernadero.

A pesar de que la desaceleración económica ha supuesto una reducción de los volúmenes transportados en los últimos años, los indicadores evaluados ponen de manifiesto que la economía española es todavía energéticamente ineficiente respecto a la modalidad de desplazar viajeros y mercancías. Los datos para el año 2009 (último dato disponible hasta la elaboración de este informe) indicaban que la carretera siguió siendo el modo de transporte más utilizado para transportar viajeros (90,5%) y mercancías (86,8%) frente a otros modos de transporte más sostenibles (ferrocarril) (OSE, 2011: 257).

Actualmente la contaminación atmosférica que existe en las ciudades procede mayoritariamente de las fuentes móviles, que con su espectacular incremento y en potencia han contrarrestado las importantes mejoras tecnológicas en los combustibles y en la eficiencia de los motores de los vehículos desarrolladas en las últimas décadas.

En 2010 el transporte por carretera fue el más demandado y representó el 90,45% de los viajeros-km que se realizaron, pese a que el transporte público de viajeros tanto en metro como autobús presenta un incremento absoluto desde el año 1990 del 32 y el 70%, respectivamente. La distribución del resto de los modos de transporte se situó en un 5,24% por ferrocarril y un 3,97% aéreo."

Dentro del transporte por carretera el coche constituye el principal medio de transporte de los españoles, tanto por motivos laborales como por ocio. Según recoge la encuesta Movilia 2007, en España se utiliza como media el coche en el 78% de los viajes a más de 50 km. El número de viajes en otros modos de transporte como el autobús, el avión y el tren para este mismo año es de 8,5%, 6,3% y 5,4% respectivamente. Además la agresiva circulación urbana, con frecuentes aceleraciones y frenadas, unido a los atascos y la congestión viaria, se corresponde con unas altas necesidades de combustible y mayores emisiones de contaminantes.

Destaca el hecho de que cuando los desplazamientos son debidos a motivos diferentes al trabajo la participación de los modos privados en las grandes capitales de provincia decrece a favor de los modos no motorizados. Estos viajes en modos sostenibles se desarrollan fundamentalmente a pie o en bicicleta mientras que en transporte público solo se realizan entre 5-32% del total de los desplazamientos. En el momento en que aumentan la distancia de los viajes (desplazamientos entre la capital y la corona metropolitana) se produce un dominio prácticamente absoluto de los modos motorizados (70-98%) (OSE 2011:249).

Del mismo modo el incremento de vehículos diesel frente a los de gasolina ha contribuido también al aumento de partículas muy finas y óxidos de nitrógeno, ya que los diesel emiten una mayor proporción de estos contaminantes.

En definitiva, la mayor amenaza para la buena calidad del aire y la salud pública por volumen de emisiones y exposición de la ciudadanía es el automóvil. El uso del automóvil en las ciudades forma parte de los patrones sociales de movilidad y consumo, con una relación directa con los modelos de urbanización.

La distribución de las zonas urbanas en España, como ya se ha comentado en el apartado anterior, presenta grandes desequilibrios territoriales debidos, fundamentalmente, a la concentración de la mayor parte de la población en grandes aglomeraciones urbanas, localizadas sobre todo en torno a Madrid y en el arco mediterráneo. Los datos indican que en el 12% de los municipios españoles, que suponen el 19% de la superficie del territorio de España, reside el 79% de la población y se localiza el 78% de las viviendas principales.

Además, en las últimas décadas esta tendencia se ha mantenido e incluso se está viendo acrecentada en España por un intenso proceso de urbanización, que ha provocado el aumento de casi un 30% del suelo artificial a lo largo del periodo 1987-2000, el cual no guarda relación con el crecimiento experimentado por la población, que en el período 1991-2001 fue de casi 5%, proceso que además se ha agudizado a partir del 2001. Entre 1987 y 2006, según datos del proyecto CORINE Land Cover, ha tenido lugar un proceso de intenso consumo de suelo y fragmentación del territorio producido por el incremento de zonas artificiales, principalmente tejido urbano continuo y discontinuo, infraestructuras y zonas en construcción, con un crecimiento neto de 307.065 ha en dicho periodo, un 52%. El periodo más expansivo ha sido entre 2000-2006, con un porcentaje medio anual de crecimiento del 2,6%, frente al 1,9% del periodo anterior 1987-2000 (OSE, 2011:278).

En esta línea, uno de los usos que más ha aumentado ha sido las infraestructuras, hasta hacer ocupar a España el primer puesto de la UE-27 en km de autopistas. Solo entre los años 1998 a 2009, España ha construido más de 5.000 nuevos kilómetros de autopistas, es decir, que en torno al 40% (38,81%) de las autopistas españolas se han construido entre 1998 y 2009. Uno de cada cinco km de autopistas europeo es español (OSE, 2011:287).

Este elevado incremento de superficie de suelo artificial tiene relación directa con un proceso de declive de la ciudad tradicional, densa y compacta, en favor de la *ciudad difusa*, que va progresivamente extendiéndose y ocupa más superficie que la primera desde los años noventa. Pero sin duda la superficie artificial que en mayor porcentaje ha crecido de 1987 a 2006 es la destinada a infraestructuras de transporte (viarias, ferroviarias y terrenos asociados) con un 446,02% (Tabla 3.4.1).

TABLA 3.4.1. Superficies artificiales, 1987-2006 (CLC Nivel 3).

Clasificación	Variación 1987-2006 (ha)	Variación 1987-2006 (%)
Tejido urbano continuo	39.827	15,70
Tejido urbano discontinuo	108.357	46,98
Zonas industriales o comerciales	69.889	91,13
Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	17.621	446,02
Zonas portuarias	2.563	31,77
Zonas aeroportuarias	4.447	30,50
Zonas de extracción minera	29.462	63,91
Escombreras y vertederos	-189	-3,09
Zonas en construcción	54.552	326,46
Zonas verdes urbanas	2.163	47,86
Instalaciones deportivas y recreativas	19.139	213,07
Total	**347.831**	**52,11%**

Fuente: Elaboración propia a partir de CORINE Land Cover, CCAA-IGN©.

La influencia de este proceso en la calidad del aire urbano es enorme ya que tiene importantes implicaciones para la intensificación de ciertas fuerzas motrices como el transporte y la energía. Este nuevo modelo de urbanización y uso del suelo obliga a la población al uso intensivo del automóvil, en detrimento del transporte público que no es capaz de atender de forma eficaz a urbanizaciones con escasa densidad de población, con el consiguiente aumento de las emisiones asociadas al tráfico.

Dentro de este modelo de crecimiento urbano como *ciudad difusa,* las emisiones de los automóviles y de los medios de transporte de personas y mercancías en general, constituyen la mayor fuente de contaminación atmosférica en la actualidad, directamente por sus emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no quemados, plomo, partículas y compuestos orgánicos volátiles (sin olvidar los ruidos) e indirectamente por emitir los precursores (NO_x y COV) del ozono.

Aún sabiendo que no existen modelos urbanos perfectos que puedan alterar radicalmente las tendencias mostradas anteriormente, si existen medidas que pueden paliar la actual insostenibilidad de las ciudades incidiendo sobre todo en el planeamiento urbano y la ordenación del territorio de forma que se pueda favorecer la implantación de formas más sostenibles de transporte, consumo de energía

y ocupación de suelo –evitando el crecimiento urbano no asociado a necesidades– que redunden en una mejora directa de calidad del aire y por lo tanto de la calidad de vida de los ciudadanos.

3.4.1. La movilidad urbana y metropolitana: la planificación estratégica para fomentar una movilidad sostenible

La movilidad urbana y metropolitana, debido a su reparto modal e intensidad, es, como se ha visto, la principal causa de los problemas de calidad del aire en las ciudades, una vez que se han reducido drásticamente otros problemas como la contaminación producto de las calefacciones de los edificios (principalmente por SO_2).

Cuando hablamos de movilidad, se puede diferenciar dos tipos de infraestructuras: las tradicionalmente así llamadas, que se podrían considerar el *hardware* del sistema, y las que se podrían llamar infraestructuras de gestión, el *software* o, lo que normalmente denominamos, la planificación estratégica (Fundación Movilidad, 2009a).

Por tanto, y debido a que el *hardware* del sistema es la ciudad y las infraestructuras heredadas, resulta clave apostar por transformar la planificación estratégica para fomentar una movilidad sostenible.

Las claves que apunta el Libro Verde de la Comisión Europea «Hacia una nueva cultura de la movilidad urbana» en esa dirección se pueden resumir en: ciudades más verdes con un tráfico fluido, una movilidad urbana más inteligente y un transporte urbano accesible y seguro para todos los ciudadanos europeos.

El camino hacia una movilidad sostenible debe orientarse, según el Libro Verde, sobre cuatro objetivos principales, que se corresponden con los cuatro ejes de la movilidad sostenible: más ecológica, reduciendo la contaminación atmosférica, acústica y el consumo de energías no renovables, así como la mejora de la eficiencia social del espacio urbano (como se ha visto en el apartado 3.1 y 3.1.1), más competitivo, evitando la congestión y a través de la mejora de los desplazamientos en todos los modos de transporte y del sistema de distribución de mercancías y su incidencia en la movilidad general; más universal, como garantizar el derecho a la movilidad de los sectores de población que no disponen de vehículo, conseguir que los costes de transporte público sean asumibles por todos los sectores sociales y mejorar la accesibilidad a todos los medios de transporte de las personas con movilidad reducida; más seguro, a través de reducir el número y gravedad de los accidentes, disminuir la accidentalidad entre jóvenes y tercera edad y mejorar la asistencia a las víctimas Comisión europea (2007).

Además de esto, varias estrategias señalan la tendencia más consolidada en la planificación actual de las principales ciudades para afrontar los principales retos de congestión, cambio climático, eficiencia energética, seguridad vial, y, entre ellos, la calidad del aire.

Las estrategias principales son las siguientes: disminuir la indisciplina de estacionamiento, regular la demanda de vehículos privados, ordenar y regular la distribución de mercancías, fomentar hábitos y entornos más seguros, potenciar medios de transporte sostenible: transporte colectivo, pie, bici y moto, conseguir una utilización más eficiente del vehículo privado y disminuir la contaminación generada por los vehículos (Fundación Movilidad, 2009b).

La gestión del transporte con el objetivo de fomentar una movilidad más sostenible supone, como se observa, un reto de gran complejidad. Las principales cuestiones que tienen que tener en cuenta los planificadores son la *perspectiva multiescalar*, ya que muchas de las políticas y medidas tipo que deben contemplarse se deciden y se desarrollan en y desde ámbitos territoriales y niveles de gobierno diferente al local, y la *trasnversalidad del transporte* ya que las políticas de transporte y movilidad requieren aproximaciones integradas entre la planificación ambiental, el desarrollo urbano y las políticas de desarrollo económico (Fundación Movilidad, 2009a).

Además, y como en todas las políticas que tienen como objetivo una mayor sostenibilidad, se deben incluir a la pluralidad de agentes que influyen y son influidos por la movilidad urbana y metropolitana, por lo que se tiene que incorporar la *participación pública*, y propuestas con grados de *incertidumbre*, ya que el conocimiento para la toma de decisiones es siempre limitado. Por último, destacar que la capacidad de conseguir cambios sustantivos en la situación actual depende, en cierta medida, de la capacidad de conseguir cambios significativos en los comportamientos y estilos de vida de los ciudadanos (Fundación Movilidad, 2009a).

Las políticas que fomentan la movilidad sostenible, son complejas y multidimensionales, pero como contrapartida, sus mejoras tienen efecto en la salud de gran parte de la población española, por lo que resultan de especial interés.

3.4.2. Incidencia del tráfico rodado en la calidad del aire urbano

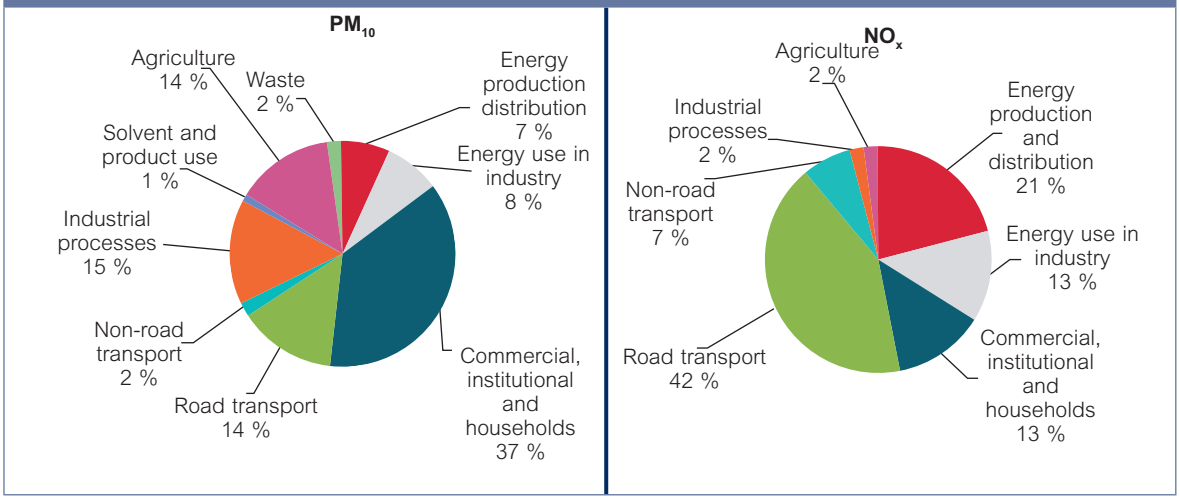
Como resultado obtenido en el marco del acuerdo de encomienda de gestión entre el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) y la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) para la realización de trabajos relacionados con el estudio y evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado y metales en España (UCA2009020083, REF 2010-0689), se elaboró un informe técnico con el fin de obtener las bases científicas para la realización de planes de mejora de calidad del aire en España (publicado recientemente en Querol *et al.*, 2012). Este documento fue la base del Plan Nacional de Mejora de Calidad del Aire aprobado por el Consejo de Ministros del Gobierno de España el 4 de Noviembre de 2012 y actualmente en revisión. Este apartado sintetiza algunos aspectos de tráfico rodado y calidad del aire del citado documento.

3.4.2.1. Contaminantes emitidos por el tráfico rodado

El tráfico rodado emite contaminantes atmosféricos a través de la combustión en el motor (CO_2, NO, NO_2, CO, compuestos orgánicos volátiles o COVs, PM (material particulado) carbonoso y en menor proporción SO_2, NH_3 y en algunos casos CH_4), por la volatilización del combustible en los depósitos de los vehículos o durante su recarga (hidrocarburos volátiles que posteriormente se oxidan y forman PM) y por el desgaste de frenos, ruedas y firme de rodadura (PM de origen mineral, carbonoso y metales como Cu, Zn, Sb, Ba, Fe y Mn).

Estos contaminantes son emitidos a la atmósfera conjuntamente con las emisiones de otras fuentes urbanas y peri-urbanas tales como las calefacciones, cocinas, industrias, agricultura-ganadería, actividades de construcción, portuarias y aeroportuarias, entre otras. Si tenemos en cuenta los inventarios de emisión (Figura 3.4.1) la contribución del tráfico rodado a los niveles de emisión de NO_2 y PM_{10} es muy inferior a su contribución a la exposición ambiental urbana de los ciudadanos. Ello se debe a que dichas contribuciones al inventario de emisión deben ser ponderadas a la proximidad de las fuentes a los ciudadanos. Así, aunque una central térmica pueda presentar unas emisiones elevadas de NO_2, éstas se producen en focos fijos concretos, generalmente alejados de la población, mientras que las del tráfico rodado se producen de forma móvil/difusa entre la población.

FIGURA 3.4.1. Contribución media de fuentes a las emisiones de NO_2 y PM_{10} anuales en la EU-27 según inventario de emisiones. Año 2009.



Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente, 2011.

En entornos urbanos los NO_x son emitidos en gran medida por la combustión en motores de vehículos, especialmente los diesel, y entre estos, los vehículos pesados. Además de su impacto en los niveles de NO_2 en aire ambiente, la oxidación posterior del NO_2 da lugar a la formación de nitrato (uno de los componentes principales de PM_{10} y $PM_{2.5}$), y por consiguiente al incremento de los niveles de material particulado (PM).

Al igual que para el NO_x, en una ciudad los compuestos particulados de carbono (OM+EC, materia orgánica y carbono elemental) son emitidos en gran proporción por el tráfico y en particular por los vehículos diesel, concretamente los pesados. Se ha de resaltar que los motores diesel son también la principal fuente de emisiones de partículas ultra-finas (UFP), es decir, aquellas con un tamaño inferior a 0.1 µm ($PM_{0.1}$), o 100 nm. La moda granulométrica de dichas emisiones se sitúa alrededor de 50 nm ($PM_{0.05}$), si consideramos la concentración en número de partículas. Una vez emitidas, estas UFPs tienden a aglomerarse y a servir de sustrato de concentración de material particulado secundario generado a partir de precursores volátiles. Además de estas emisiones de partículas ultrafinas, el tráfico rodado puede generar nuevas partículas por nucleación de partículas secundarias a partir de la emisión de fases gaseosas orgánicas e inorgánicas, incrementando muy marcadamente la concentración de nano-partículas (<50 nm), sobre todo en el rango <20 nm.

Además de las emisiones del motor también son importantes las emisiones de PM por resuspensión generadas por el tráfico de materia mineral urbana, de origen claramente antropogénico (erosión del firme de rodadura por tráfico, abrasión de frenos, demolición, construcción,…). Estas emisiones, además de incrementar los niveles de PM_{10} y $PM_{2.5}$, presentan elevadas concentraciones de metales, como Cu, Sb, Fe, Mn, Zn y Ba. Las condiciones climáticas de España, y sobre todo la baja pluviometría, dificultan la extracción de estas partículas del ambiente urbano. Por tanto, las actuaciones para reducir los niveles de materia mineral en entornos urbanos se han de centrar en la regulación del tráfico y de las emisiones de la construcción/demolición (Amato *et al.,* 2009).

Otra consideración importante a tener en cuenta es que a pesar de que los especialistas en emisiones contemplan el PM y los gases reactivos, como NO_2, NH_3 y COV, como problemas independientes, el destino final de una gran proporción de las emisiones de estos dos últimos contaminantes gaseosos es la generación de PM secundario. Así, alrededor del 70% del $PM_{2.5}$ urbano está constituido por componentes que no han sido emitidos en forma sólida, sino que se han generado a partir de precursores gaseosos (principalmente NO_2, NH_3, COV y SO_2). Por tanto es muy importante abordar estrategias que conlleven la disminución de los gases precursores para conseguir disminuir los niveles de PM en aire ambiente.

Se ha de resaltar el gran esfuerzo realizado por los fabricantes de vehículos en lo referente a la reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos sin gravar excesivamente el precio de venta. Así la legislación europea de emisiones de vehículos (normativa EURO) ha ido evolucionando con criterios de emisión mucho más estrictos desde 1992 (EURO1) hasta la actual EURO5 (desde 2009, Tabla 3.4.2).

TABLA 3.4.2. Valores EURO de emisión para vehículos de pasajeros (Solamente aplicable a vehículos de inyección directa), valores en g/km. HC, hidrocarburos; NMHC, hidrocarburos no metánicos.

Norma	Fecha inicio	CO	HC	NMHC	NO_x	$HC+NO_x$	PM
DIESEL							
EURO1†	jul-92	2.72 (3.16)	–	–	–	0.97 (1.13)	0.14 (0.18)
EURO2	ene-96	1	–	–	–	0.7	0.08
EURO3	ene-00	0.64	–	–	0.5	0.56	0.05
EURO4	ene-05	0.5	–	–	0.25	0.3	0.025
EURO5	sep-09	0.5	–	–	0.18	0.23	0.005
EURO6	sep-14	0.5	–	–	0.08	0.17	0.005

(…)

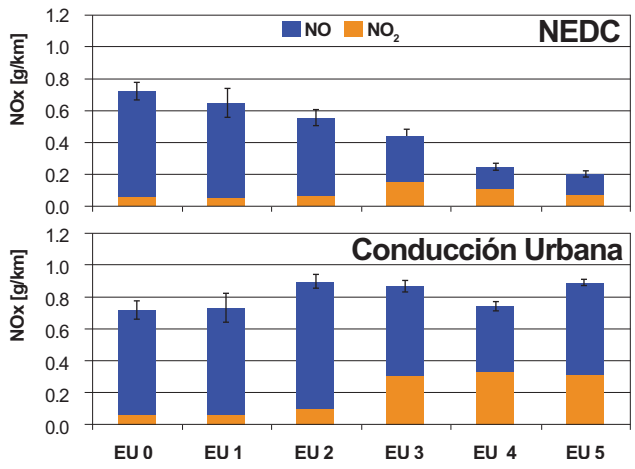
Gasolina							
EURO1†	jul-92	2.72 (3.16)	–	–	–	0.97 (1.13)	–
EURO2	Ene-96	2.2	–	–	–	0.5	–
EURO3	Ene-00	2.3	0.2	–	0.15	–	–
EURO4	Ene-05	1	0.1	–	0.08	–	–
EURO5	Sep-09	1	0.1	0.068	0.06	–	0.005*
EURO6	sep-14	1	0.1	0.068	0.06	–	0.005*

Fuente: Comisión Europea.

Los nuevos factores de emisión de NO, NO_2 y NO_x de vehículos diesel (Update for the Handbook on Emission Factors V3, HBEFA, http://www.hbefa.net) basados en determinaciones experimentales en circuitos urbanos reales (de Alemania, Austria, Suiza y Noruega) de conducción reflejan niveles de emisión mucho más elevados que en el ciclo de conducción europeo (New European driving cycle, NEDC) base de las normas EURO.

Así, mientras en las normas de emisión EURO 1 a 5 hay un marcado descenso, los mismos vehículos en circuitos urbanos reales no muestran un descenso de emisiones de NO_2 claro (**Figura 3.4.2**). Por tanto, en condiciones reales de conducción, aunque se disponga de flotas muy renovadas de vehículos diesel de pasajeros y de vehículos de carga ligeros, las emisiones de NO_2 seguirán siendo muy elevadas, incluso en algunos casos pueden llegar a ser superiores a las del parque a renovar. Este hecho supone un gran problema para la efectividad de las zonas de baja emisión si no se aplican medidas complementarias para que se eviten motores diesel en la renovación de los vehículos afectados por las zonas de baja emisión.

FIGURA 3.4.2. Niveles de emisión de vehículos diesel de pasajeros EURO1 a 5 en circuitos urbanos de conducción reales y en el ciclo de conducción europeo.



Fuente: New European driving cycle, NEDC. Cortesía del Prof. Dr. S. Hausberger, T.U. Graz.

La nueva norma EURO6, que sí reduce realmente las emisiones de NO_2 de los vehículos diesel de pasajeros en ciclo de conducción urbano tiene prevista su entrada en vigor a partir de septiembre de 2014. No obstante en noviembre de 2011 ya existían algunos modelos de turismos que cumplían la norma EURO6, y es de preveer que cada vez sean más estos vehículos antes de la entrada en vigor de la citada norma en 2015.

En lo referente a las emisiones de PM hay una drástica disminución de emisiones desde EURO1 a EURO5 tanto en el NEDC como en el circuito urbano, por los que es de esperar que el ratio real de emisiones NO_2/PM haya variado sustancialmente a lo largo de esta última década.

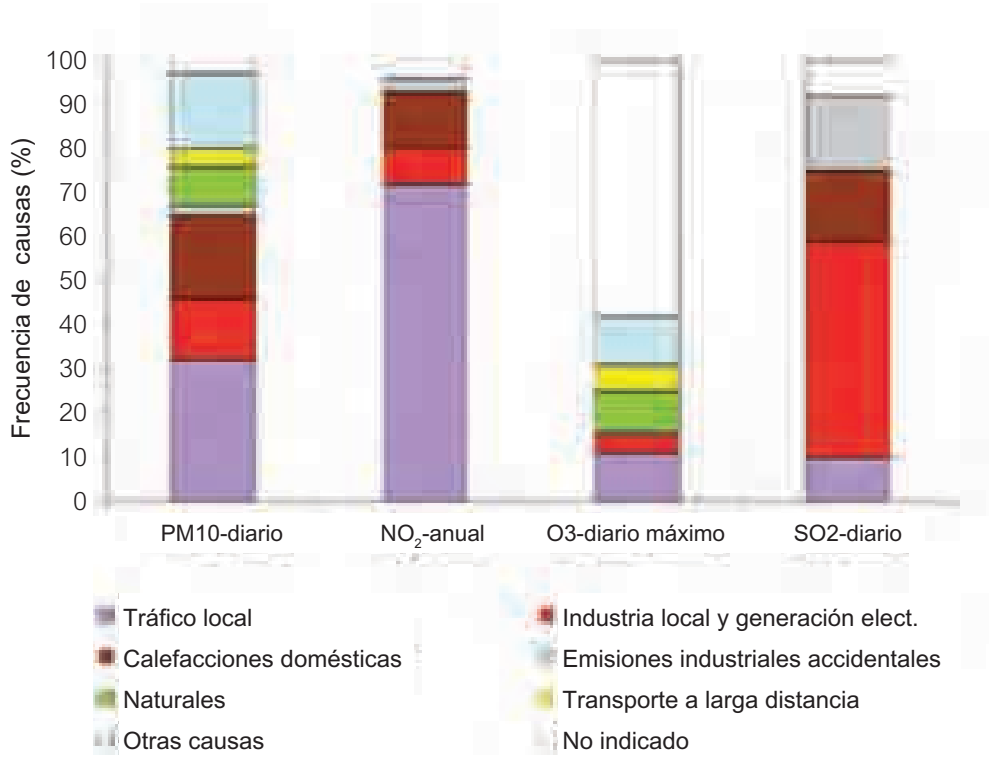
Los motores diesel tienen una alta eficiencia energética y permiten reducir el consumo, y por tanto las emisiones de CO_2 por km recorrido. Como ya se ha mencionado, los fabricantes de vehículos han hecho un gran esfuerzo en producir automóviles con menores niveles de emisión de PM_{10} y han ido cumpliendo las normas de emisión EURO. Desde 1992 (EURO1) a 2009 (EURO5) los vehículos diesel han reducido las emisiones de PM_{10} en dos órdenes de magnitud (Tabla 3.4.2). Sin embargo en lo referente a NO_2, aunque el esfuerzo ha sido también grande, como ya se ha comentado, los vehículos diesel nuevos (EURO5) continúan emitiendo elevadas cantidades de este contaminante cuando circulan en ciclos de conducción urbana (baja velocidad, mucha congestión, frecuentes paradas, etc.) El tema es complejo, por una parte podemos disminuir las emisiones de CO_2 mediante incentivar el diesel respecto a la gasolina (situación de los últimos años), pero estos a la vez pueden causar problemas de contaminación por contaminantes urbanos que afectan a la salud. Las soluciones pueden ser: a) primar la calidad del aire sobre las acciones climáticas en zonas urbanas muy densas, b) adelantar la nueva norma EURO6, prevista para el 2015, la cual reduce las emisiones de NO_2 de manera notable. Un motor diesel con bajas emisiones de NO_2 y PM_{10} permitiría colaborar a reducir contaminantes urbanos y climáticos.

3.4.2.2. Contribución del tráfico rodado a la contaminación atmosférica urbana

En entornos urbanos los principales parámetros críticos de calidad del aire por incumplimiento de los valores límite normativos son los óxidos de nitrógeno (NO_2) y las partículas en suspensión (PM_{10}). En el ámbito Europeo (Figura 3.4.3) la Agencia Europea de Medio Ambiente ha expuesto que al menos un 30% de los casos del incumplimiento de los valores límite de protección a la población de PM_{10} en EU-27 se debe a las emisiones del tráfico rodado urbano.

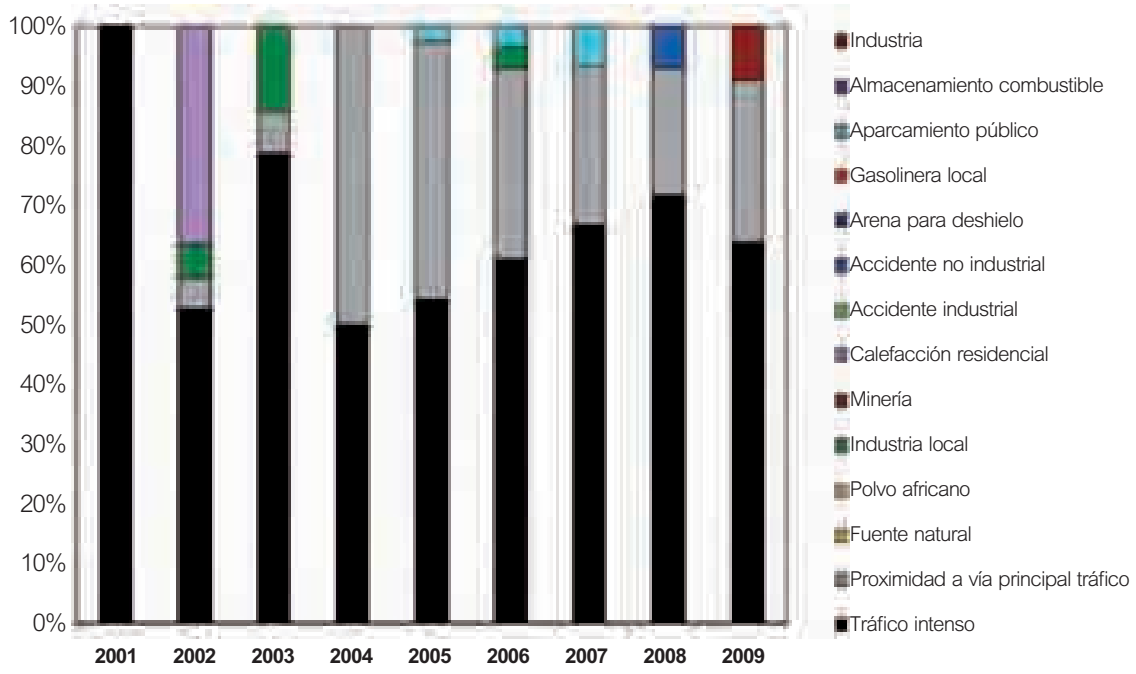
Este porcentaje se incrementa a más del 70% en el caso de NO_2. Ambos porcentajes incrementan en más de un 20% en ambos casos cuando nos referimos a los incumplimientos registrados en España (Figura 3.4.4).

FIGURA 3.4.3. Causas de incumplimiento de los valores límite de calidad del aire.



Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente, 2010.

FIGURA 3.4.4. Causas de incumplimiento del valor límite anual de calidad del aire en NO_2 en España.



Fuente: Querol *et al.*, 2012.

Esta situación de elevada contribución de los emisores del tráfico rodado a la contaminación urbana se debe a varias causas:

a) Muchas ciudades españolas presentan una elevada densidad de vehículos que llega a alcanzar 5.900 turismos/km² (**Figura 3.4.5**); Barcelona, con una flota de 59.000 turismos, 2.600 turismos/km² (Valencia, 356.000) o 2.300 turismos/km² (Madrid, 1.400.000). En la mayor parte de las grandes ciudades europeas dicha densidad se sitúa alrededor de 1.500 turismos/km², aún teniendo parques de vehículos muy superiores en número a la mayoría de las ciudades Españolas (Londres, 2.400.000 turismos; Roma, 1.900.000; Berlín 1,225.000).

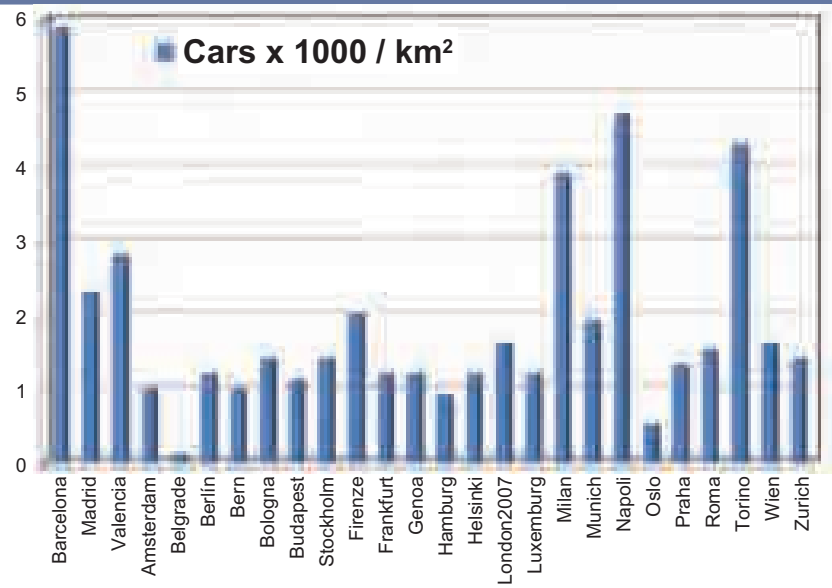
b) Elevado porcentaje de vehículos diesel en las flotas de turismos utilizados en entornos urbanos.

c) El rápido crecimiento urbano periférico con escaso desarrollo paralelo del transporte público en muchas ciudades españolas ha dado lugar a zonas metropolitanas con alta proporción de uso del vehículo privado para los desplazamientos desde las residencias periurbanas a los lugares de trabajo (centro urbano). Ello ha dado lugar a que en proporciones superiores al 50% los vehículos que circulan en grandes ciudades españolas sean de no residentes.

d) La arquitectura urbana, que en muchas ciudades españolas se caracteriza por una elevada densidad de vías de circulación con más de 10.000 vehículos por día, baja proporción de zonas verdes y una altura considerable de los edificios que dificulta la ventilación de las calles, y por tanto la dispersión de contaminantes (**Figura 3.4.6**).

e) Baja pluviometría, vientos suaves y alta insolación. Estas características que constituyen una de las razones principales del atractivo turístico mediterráneo, favorecen la acumulación y formación de contaminantes secundarios.

FIGURA 3.4.5. Turismos matriculados por km2 en diferentes ciudades europeas.



Fuente: QUEROL, X.; VIANA, M.; MORENO, T.; ALASTUEY, A.; PEY, J.; AMATO, F.; PANDOLFI, M.; MINGUILLÓN, M.C.; RECHE, C.; PÉREZ, N.; GONZÁLEZ, A.; PALLARÉS, M.; MORAL, A.; MONFORT, E.; ESCRIG, A.; CRISTÓBAL, A.; HERNÁNDEZ, I.; MIRÓ, J.V.; JIMÉNEZ, S.; REINA F.; JABATO, R.; BALLESTER, F.; BOLDO, E.; BELLIDO, J. *Bases científico-técnicas para un Plan Nacional de Mejora de la Calidad del Aire*. Colección Informes CSIC, n.3. ISBN 978-84-00-09475-1, 349 pp., 2012.

FIGURA 3.4.6. Estructura urbana del centro de Amsterdam, Madrid y Barcelona (de arriba a abajo)

Fuente: QUEROL, X., *Bases científico-técnicas para un Plan Nacional de Mejora de la Calidad del Aire.* Colección Informes CSIC, n.3. ISBN 978-84-00-09475-1, 349 pp., 2012. *Nota*: La barra roja indica la escala, 500 m en los tres casos.

Por todo lo expuesto es necesario disminuir las emisiones del tráfico rodado para cumplir los objetivos del aire ambiente de NO_2 y PM_{10} en la mayoría de las ciudades españolas. La disminución no ha de seguir criterios puramente cuantitativos de reducción de emisiones del inventario de emisión. También deben considerarse criterios cualitativos, tales como priorizar la disminución de emisiones en zonas céntricas, vías próximas a centros escolares, edificios públicos, centros de trabajo, etc.; así como planificar la distribución de la red de transporte público para minimizar la posibilidad de crear puntos negros de exposición de NO_2 por concentración de emisiones de motores.

3.5. Análisis de la calidad del aire en las ciudades españolas

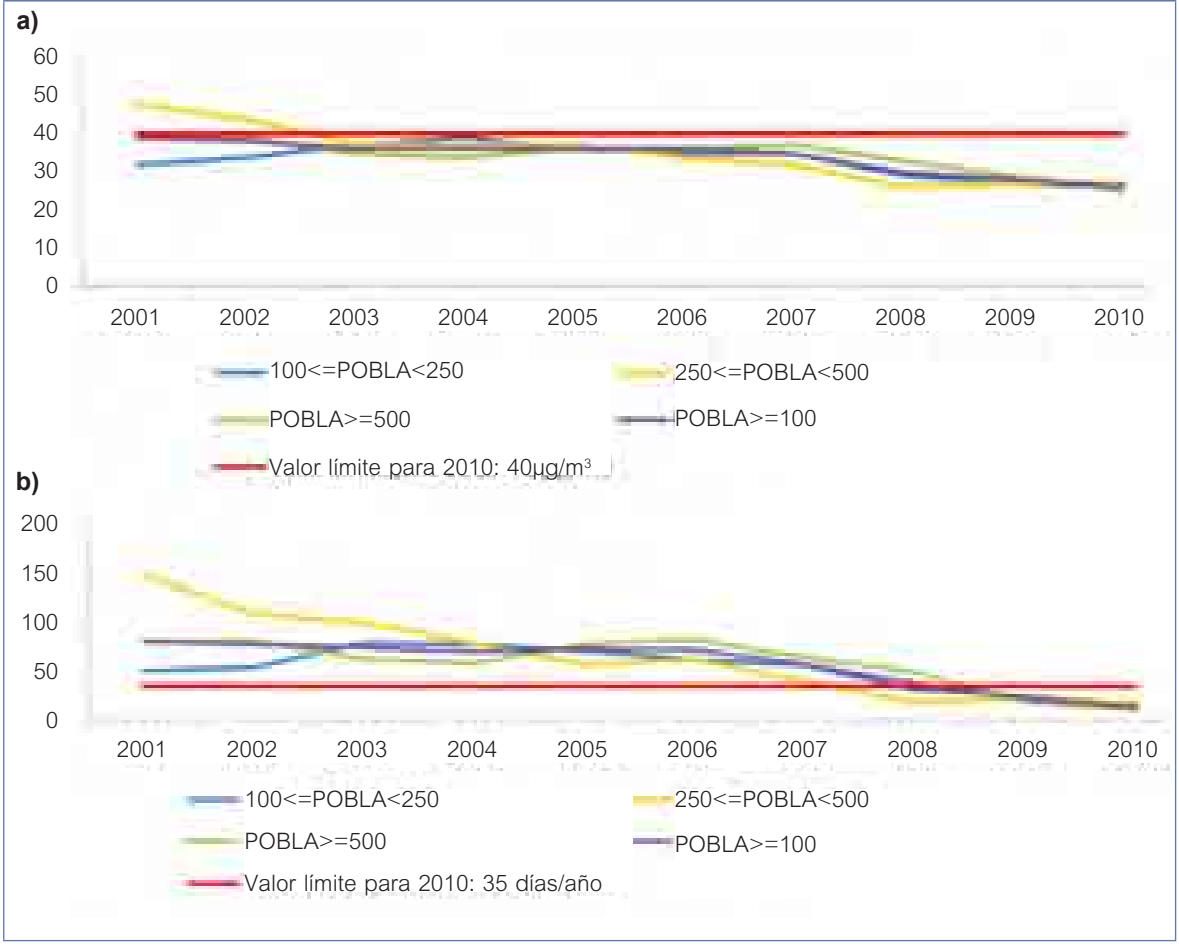
Aunque la calidad del aire en las ciudades españolas ha mejorado en términos absolutos debido a una reglamentación más estricta, la salida de las industrias de las ciudades y la incorporación de determinados avances técnicos, los indicadores de algunos contaminantes reflejan que, la situación y tendencia de la calidad del aire en algunas ciudades españolas, no es aún satisfactoria y constituye una preocupación para la población por su incidencia en la salud.

Entre los contaminantes más problemáticos para la salud destacan las partículas en suspensión (PM_{10} y $PM_{2,5}$), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el ozono troposférico (O_3). Todos ellos, excepto el ozono y una fracción de las $PM_{2,5}$, proceden directamente de las fuentes de emisión, es decir, son contaminantes primarios. El ozono es un contaminante secundario originado por complejas reacciones químicas que tienen lugar en la atmósfera entre los contaminantes precursores del ozono y los propios componentes de la atmósfera. Una fracción de las $PM_{2,5}$ se generan asimismo a partir de las emisiones de precursores como el amoniaco o los óxidos de azufre.

En el año 2010 el análisis de la calidad del aire basado en indicadores para los contaminantes PM_{10}, NO_2 y O_3 en las ciudades españolas de más de 100.000 habitantes se situó por debajo de las referencias consideradas (valores límite y/o objetivos previstos en la Directiva 2008/50/CE).

Los niveles de concentración media anual de material particulado (PM_{10}) disminuyeron en todos los rangos de población analizada con respecto al año anterior, a excepción de los municipios con un rango de población entre 250.000 y 500.000 habitantes donde se dio un pequeño ascenso, aunque el indicador continuó por debajo de los valores de referencia. El indicador diario de las PM_{10} cumplió con el valor límite establecido para todos los rangos de población. En el año 2010 no se superó más de 35 días la concentración media de 50 µg/m^3, manteniendo la tendencia descendente iniciada en años anteriores para todos los rangos de población (Figura 3.5.1).

FIGURA 3.5.1. Media ponderada con la a) población de la concentración media anual en relación con el límite 40 µg/m³ de PM_{10} y con la b) población del número de días al año en el que se supera la concentración media diaria de 50 µg/m³ de PM_{10} en los municipios españoles.

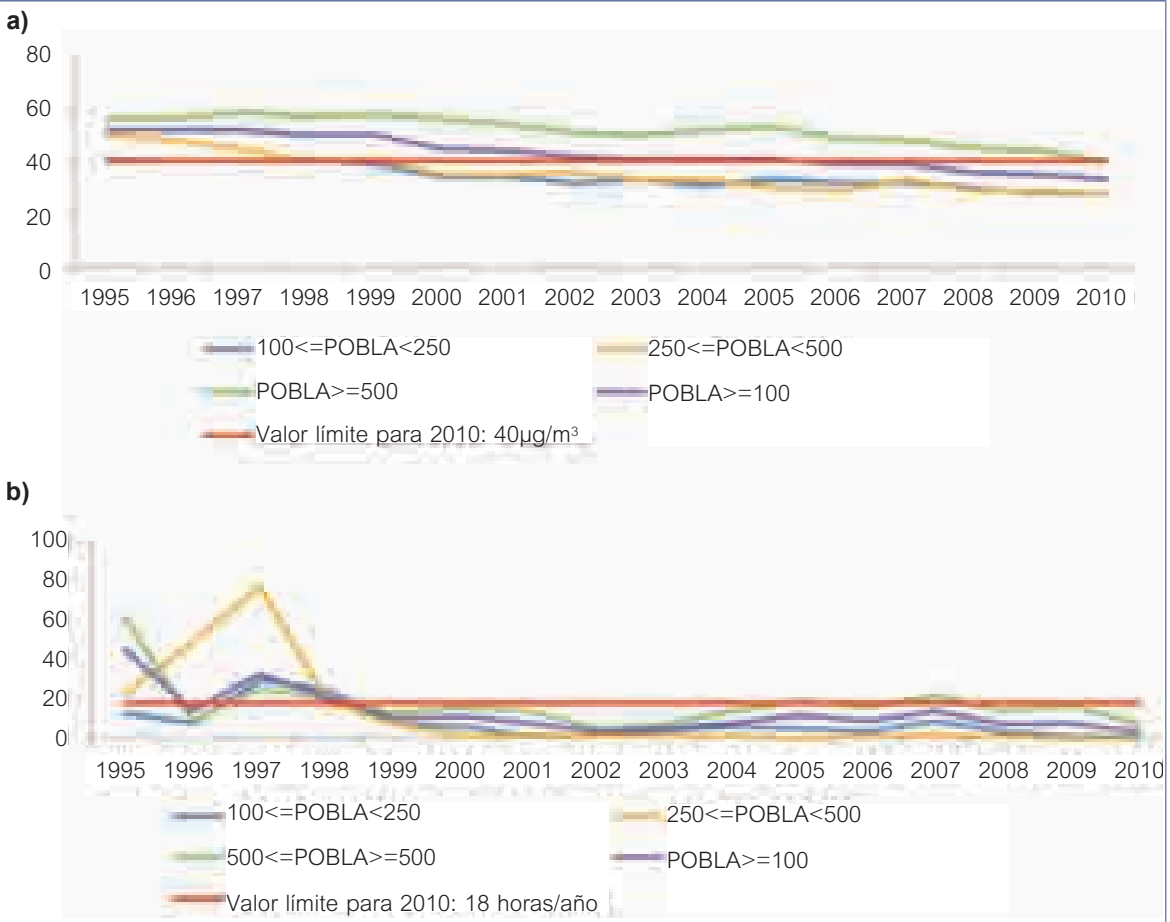


Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de Datos de Calidad del Aire del MAGRAMA. Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial, MAGRAMA, 2012.

En cuanto a los niveles de concentración media anual del contaminante NO_2, desde el año 2007 se ha mostrado una tendencia descendente continuada, aunque las poblaciones analizadas con un rango de población superior a 500.000 habitantes todavía siguen justo en el valor límite legislado (Figura 3.5.2).

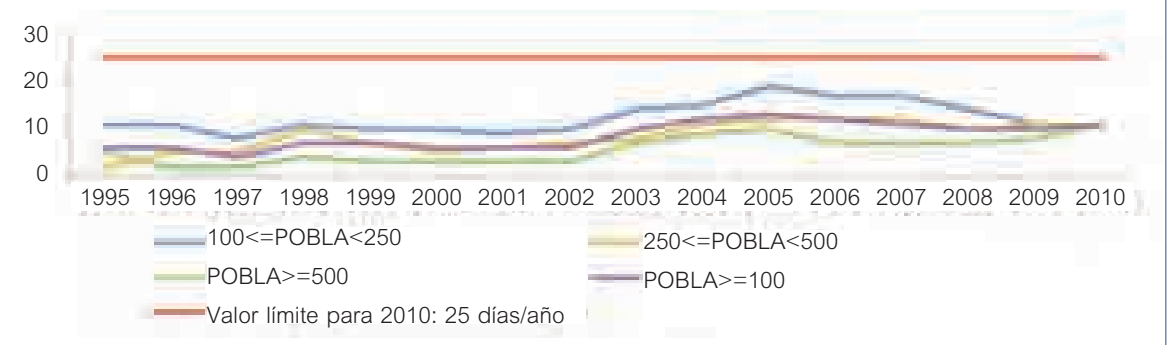
El ozono es un contaminante secundario cuyos valores no suelen ser muy altos en ciudades, afectando más a la periferia. Aunque en el año 2010 se cumplió con el valor objetivo establecido en todos los rangos de población es importante destacar la tendencia ascendente de los últimos años sobre todo en las ciudades de más de 500.000 habitantes (Figura 3.5.3).

FIGURA 3.5.2. Media ponderada con la a) población de la concentración media anual de NO_2 en relación con el límite de 40 µg/m³ y con la b) población del número de horas al año en el que se supera la concentración media horaria de 200 µg/m³ de NO_2 en los municipios españoles.



Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de Datos de Calidad del Aire del MAGRAMA. Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial, MAGRAMA, 2012.

FIGURA 3.5.3. Media ponderada con la población del número de días al año en el que se supera la concentración de O_3 de 120 µg/m³ de máximo diario de medias móviles octohorarias en relación con el límite de 25 días.



Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de Datos de Calidad del Aire del MAGRAMA. Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial, MAGRAMA, 2012.

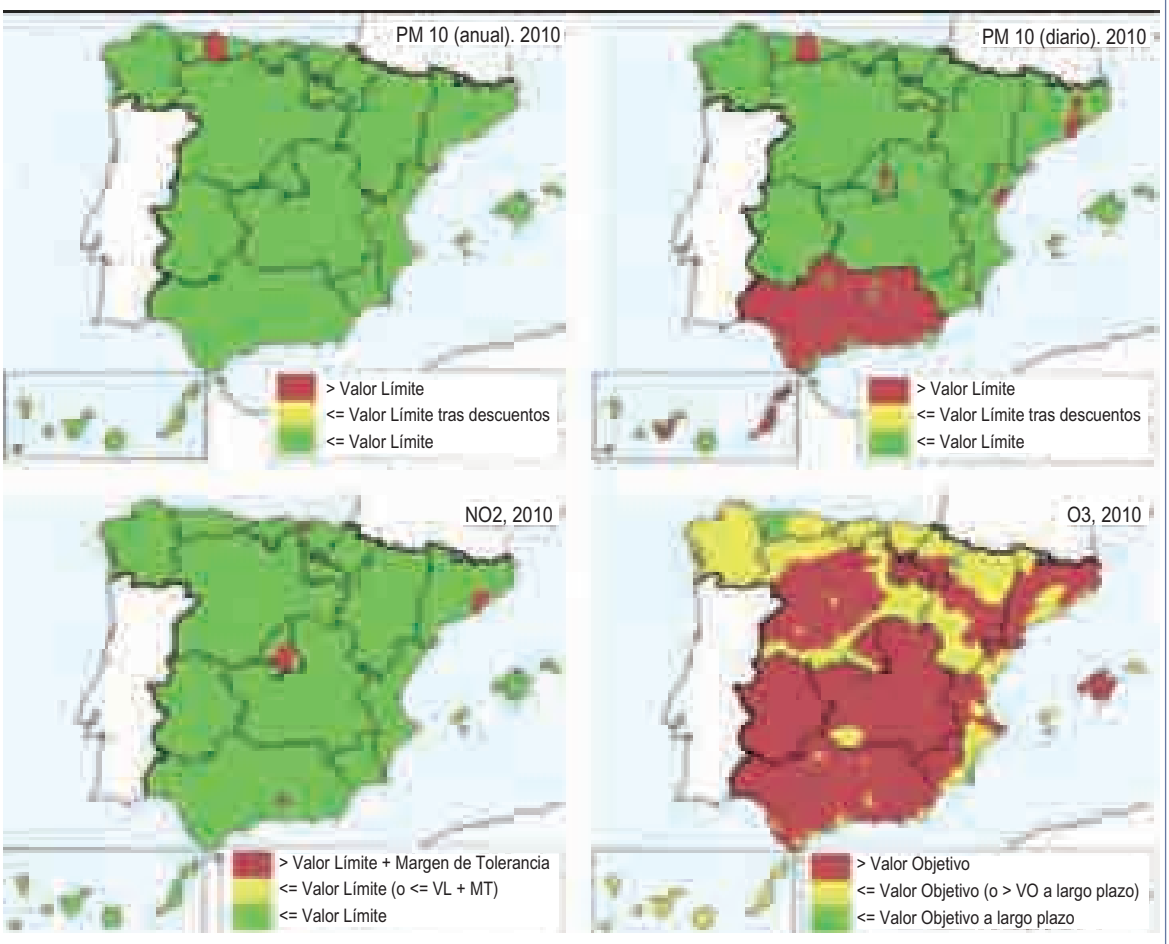
El análisis por ciudades indica que se produjeron superaciones puntuales de los objetivos de calidad en zonas mayoritariamente urbanas o metropolitanas.

La evaluación de la calidad del aire realizada por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) a partir de los datos obtenidos de las redes autonómicas de calidad del aire señaló que en el año 2010 el contaminante atmosférico que más problemas causó fue el NO_2. Los valores de concentración media anual superiores al valor límite establecido para el NO_2 se dieron principalmente en la Comunidad Autónoma de Madrid (Madrid y Leganés) y Cataluña (Sabadell, Tarrasa, Barcelona, Santa Coloma, Badalona y Hospitalet del Llobregat), siendo el tráfico la fuente principal de emisión. El indicador horario de NO_2, al igual que en el año anterior, solo superó el valor legislado en el municipio de Madrid.

En cuanto a las partículas PM_{10} se observó una ligera mejoría en relación al año 2009, presentándose tan solo superaciones del valor límite legislado para el indicador diario en las ciudades de Granada, Torrejón de Ardoz, Murcia y Alcalá de Henares.

El ozono troposférico a diferencia de las partículas y el NO_2 es un contaminante secundario cuyos niveles más elevados se registran siempre en zonas suburbanas o rurales, normalmente ligados además a alta insolación. En el año 2010 algunos de los municipios analizados mejoraron en relación al año anterior sin llegar a superar el valor objetivo establecido. Las concentraciones medias octohorarias de ozono troposférico máximas del día por encima de los 25 días/año se dieron en Badajoz, Alcalá de Henares y mayoritariamente en la Comunidad Autónoma de Andalucía (Jaén, Córdoba, Dos Hermanas y Sevilla).

MAPA 3.5.1. Calidad del aire por zonas para los contaminantes PM_{10}, NO_2, O_3. Año 2010.



Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de Datos de Calidad del Aire del MAGRAMA. Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial, MAGRAMA, 2012.

Más de 7 años después de la entrada en vigor de los valores límite (2005) para las partículas en suspensión, hay numerosas zonas en la Unión Europea que todavía no cumplen con los valores

legislados. La Comisión Europea tiene pendiente aún llevar a España junto con otros Estados miembros ante el Tribunal de Justicia de la UE por este asunto.

La adopción de medidas de control del tráfico urbano, promoción del transporte público, e incorporación de vehículos híbridos y eléctricos en las ciudades, unido a la generalización del uso de las energías renovables en edificios, la correcta planificación de las áreas industriales y una mayor concienciación entre la población, permitirían alcanzar en 2020 los objetivos marcados por la OMS de concentraciones de NO_2 y partículas para garantizar que la calidad del aire en las grandes ciudades no implique un riesgo para la salud de las personas. (Informe Cambio Global en España 2020-2050: Programa Ciudades).

Según estos resultados, a pesar de que en los últimos años se ha experimentado una mejora en la calidad del aire, como consecuencia del desarrollo y aplicación de políticas, normativas y nuevas tecnologías, en muchas ciudades españolas se siguen superando los valores límite y objetivo establecidos por la normativa europea para algunos contaminantes atmosféricos.

Los habitantes de las grandes ciudades españolas, al igual que gran parte de sus conciudadanos europeos, siguen respirando un aire que está por encima de los umbrales de contaminación que fija la legislación europea y española. Es importante destacar que a pesar del cumplimiento legislativo en algunas de las ciudades, los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (que marca los límites para los que la contaminación no incida en la salud pública) todavía no llegaron a alcanzarse, por lo que España necesitará hacer más esfuerzos para reducir la contaminación atmosférica.

En el marco de la Unión Europea ha habido reducciones muy pronunciadas de los niveles de contaminantes como el SO_2 y CO en el aire así como marcadas reducciones de NO_x. Sin embargo la exposición a materia particulada y ozono siguen siendo un problema de salud relacionado con el medio ambiente, unido a una pérdida de esperanza de vida, efectos respiratorios y cardiovasculares agudos y crónicos, desarrollo deficiente del pulmón en niños y peso reducido en el nacimiento. En cuanto al ozono, durante la pasada década se excedieron frecuentemente los niveles objetivo relacionado con la salud. El programa CAFE estimó que la exposición a concentraciones que exceden el valor objetivo relacionado con la salud humana está asociada a más de 20.000 muertes prematuras al año en la UE-25.

Según un último estudio realizado por el Centro para el Medio Ambiente y la Salud de la Oficina Regional europea de la OMS, uno de cada cinco europeos muere de enfermedades vinculadas a la salud ambiental de los países donde residen en todo el entorno europeo. Cada ciudadano de la UE, por culpa de respirar aire contaminado, pierde un total de 8,6 meses de esperanza de vida. Si se tienen en cuenta los valores recomendados por la OMS, los europeos que respiran aire contaminado se incrementan hasta casi los 37 millones de personas. Hablamos de un 79% de la población. Y la principal fuente de contaminación en áreas urbanas, que es donde vive la mayor parte de la población, es el tráfico.

Según el último estudio publicado por la Agencia Europea de Medio Ambiente, un 81% de los habitantes de las ciudades europeas está expuesto a concentraciones de partículas grandes por encima de los estrictos límites fijados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), y un 95%, a las partículas pequeñas. Sin embargo, la normativa de la UE es más laxa: el 21% y el 30% de la población urbana europea respira en el aire más partículas nocivas, grandes y pequeñas, respectivamente.

Junto a los niveles altos persistentes de las partículas, destaca también el problema del ozono en las capas bajas de la atmósfera. Los expertos señalan que son los dos contaminantes más problemáticos en Europa en términos de salud humana. El ozono troposférico puede causar o agravar problemas respiratorios y la exposición a este agente en ciudades aún es muy alta: el 97% de los habitantes urbanos en la UE, según las recomendaciones de la OMS, o el 17% según los objetivos de la UE.

En cuanto dióxido de nitrógeno, el 7% de los europeos todavía viven en ciudades donde están expuestos a niveles por encima de la regla de la UE.

La Comisión Europea está actualmente evaluando las peticiones de prórroga para el cumplimiento de los valores límite de dióxido de nitrógeno (NO_2), que entraron en vigor en 2010 y que incumplen varias ciudades españolas. Si a esto se añade que estos límites están muy por encima de los estable-

cidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) se tiene que concluir que la calidad del aire en algunas de las ciudades españolas sigue siendo un problema para la salud de sus ciudadanos, afectando muy especialmente a los grupos más vulnerables como niños, mujeres embarazadas, mayores y personas con problemas cardio-respiratorios (Ver capítulo 4).

3.6. MODELOS DE CALIDAD DEL AIRE URBANO

3.6.1. Aplicación, potencialidad y utilidad de los modelos de calidad del aire

Los modelos tienen un alto grado de utilidad en la gestión de la calidad del aire, especialmente en la predicción, el diagnóstico, la evaluación del impacto de fuentes contaminantes y de planes de mejora de la calidad del aire, así como, la ayuda al diseño de redes de medida de la calidad del aire.

Gracias a los modelos de calidad del aire se puede predecir cada vez mejor la evolución de la contaminación atmosférica en nuestras ciudades, regiones y países proporcionando una capacidad cada vez mayor de anticipar la aparición de episodios de mala calidad del aire, permitiendo en algunos casos la adopción de medidas correctoras como la restricción de tráfico de vehículos en ciudades o modificar temporalmente la actividad de fuentes industriales o producción de energía.

Otra faceta importante de los modelos es la de ayudar a realizar el diagnóstico de la calidad del aire en una zona. Es lo que llamamos evaluación de la calidad del aire. Generalmente, esto se hace con mediciones en estaciones de medida desplegadas en la zona de estudio, ya que las mediciones tienen una exactitud mayor a los resultados de un modelo. Por el contrario, los modelos validados tienen la importante ventaja de proporcionar datos con una cobertura espacial que las mediciones no son capaces de dar (salvo que se dispongan de un número enorme de estaciones de medida). En la actualidad, se busca aprovechar las ventajas de las mediciones (Ver apartado 3.5) y de los modelos para realizar la evaluación de la calidad del aire. Para ello, se han desarrollado metodologías para combinar mediciones y modelos y así obtener una evaluación de la calidad del aire más realista.

Los modelos también se utilizan para determinar el impacto de instalaciones industriales, centrales de energía, autopistas, etc. en la calidad del aire del entorno en el que se ubican o ubicarían. El uso de modelos específicos es obligatorio dentro de los estudios de impacto ambiental de nuevas instalaciones o infraestructuras como paso previo a la consecución de la licencia de construcción o funcionamiento pertinente.

La mejora de la calidad del aire en una zona implica la adopción de una serie de medidas como la restricción de tráfico en algunas zonas de la ciudad o incentivar el uso de vehículos menos contaminantes, etc., cuya efectividad sólo puede ser estimada mediante el uso de modelos de calidad del aire a los que se les proporciona datos de emisiones acordes con las medidas que se plantean. Los resultados de los modelos bajo estas condiciones de emisión son comparados con los resultados de utilizar las emisiones sin adopción de dichas medidas para de esta forma verificar su eficacia.

Los modelos de calidad del aire tienen la capacidad de dar una visión muy detallada de la distribución espacial de contaminantes atmosféricos. Esta capacidad puede utilizarse para fijar las ubicaciones mejores para la medición de la contaminación buscando una buena relación entre cobertura espacial y número de estaciones a utilizar en una red de medida de la calidad del aire, teniendo en cuenta que cada estación tenga una buena representatividad espacial.

3.6.2. Evaluación de la calidad del aire urbano: aplicación de modelos

¿Qué calidad del aire tenemos en España? Esta pregunta se la hacen todos los ciudadanos que tienen cierta preocupación medioambiental o por su salud. Todos los países miembros de la Unión Europea están obligados a evaluar el estado de la calidad del aire. Evaluar la calidad del aire es hacer un diagnóstico del aire que se respira las distintas zonas, es decir, conocer los contaminantes que contiene y su concentración, así como, determinar si esas concentraciones están por encima o no de los valores estándar (valores límite y objetivo), que marca la legislación. Estos valores estándar se han basado en una serie de estudios e investigaciones e indican que si estas concentraciones son superadas durante un tiempo determinado puede haber daños significativos en la salud o en los ecosistemas.

Para evaluar la calidad del aire, se utilizan las mediciones de las redes de estaciones de medida desplegadas en el territorio y los modelos de dispersión de contaminantes. Las estaciones de medida están equipadas con unos aparatos específicos para cada contaminante, que siguen unas técnicas de medición contrastadas y avaladas por expertos internacionales, que las convierten en las más adecuadas para medir la concentración de cada contaminante. Además, están sometidas a un mantenimiento continuo que garantiza el correcto funcionamiento y la validez de las mediciones. Por tanto, las mediciones así obtenidas van a ser de gran calidad. Sin embargo, estas mediciones son representativas de la concentración de contaminantes en un área alrededor de la estación, que en algunos casos puede ser muy extensa, como en el caso de estaciones localizadas en zonas alejadas de focos emisores de contaminantes, pero en otros, puede ser muy limitada, como es el caso de las estaciones localizadas en las calles de nuestras ciudades. Esto hace muy difícil que se pueda hacer una buena evaluación de la calidad del aire sólo con mediciones, a no ser que se disponga de unas redes de medida muy densas, lo que supone un coste muy considerable.

Los modelos de calidad del aire o de dispersión de contaminantes atmosféricos, por el contrario, tiene la gran virtud de proporcionar estimaciones de la concentración de contaminantes sobre una malla regular del territorio con una densidad y resolución espacial muy alta en comparación con las redes de medida. Sin embargo, sus estimaciones de concentraciones difícilmente llegan a la calidad de las mediciones. Los modelos procesan los datos de emisiones de contaminantes, calculan el transporte por el viento, la difusión debida a la turbulencia, las transformaciones químicas y la eliminación de los contaminantes por depósito (por ejemplo, por efecto de la lluvia) sobre la superficie terrestre para poder calcular la concentración de contaminantes en cada instante y en cada punto de la malla regular en la que dividimos el territorio. Como muchos de los datos de entrada de los modelos tienen una incertidumbre importante, especialmente las emisiones de contaminantes, por ejemplo del tráfico de vehículos, estos errores se combinan y aumentan con los cálculos del modelo.

Las estaciones de medida proporcionan buenos datos de concentración de contaminantes pero una cobertura espacial insuficiente, sin embargo con los modelos se dispone de una cobertura espacial muy buena aunque sus estimaciones de concentraciones no sean de tanta calidad. Por ello, la mejor opción es combinar las mediciones de las estaciones y estimaciones de los modelos para una correcta y detallada evaluación de la calidad del aire en un territorio.

En España, el Grupo de Modelización Atmosférica de la División de Contaminación Atmosférica del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) lleva varios años dando soporte al Ministerio de Medio Ambiente (actualmente, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, MAGRAMA) para, mediante el uso combinado de modelos y mediciones, realizar una evaluación de la calidad del aire en España en respuesta a los requerimientos legales nacionales y europeos, que exigen entre otras cosas informar año a año de cual es el estado de la calidad del aire en cada país europeo. En este apartado, se explica la metodología seguida y se muestra la calidad del aire estimada entre los años 2007 y 2010 en la Península Ibérica y Baleares.

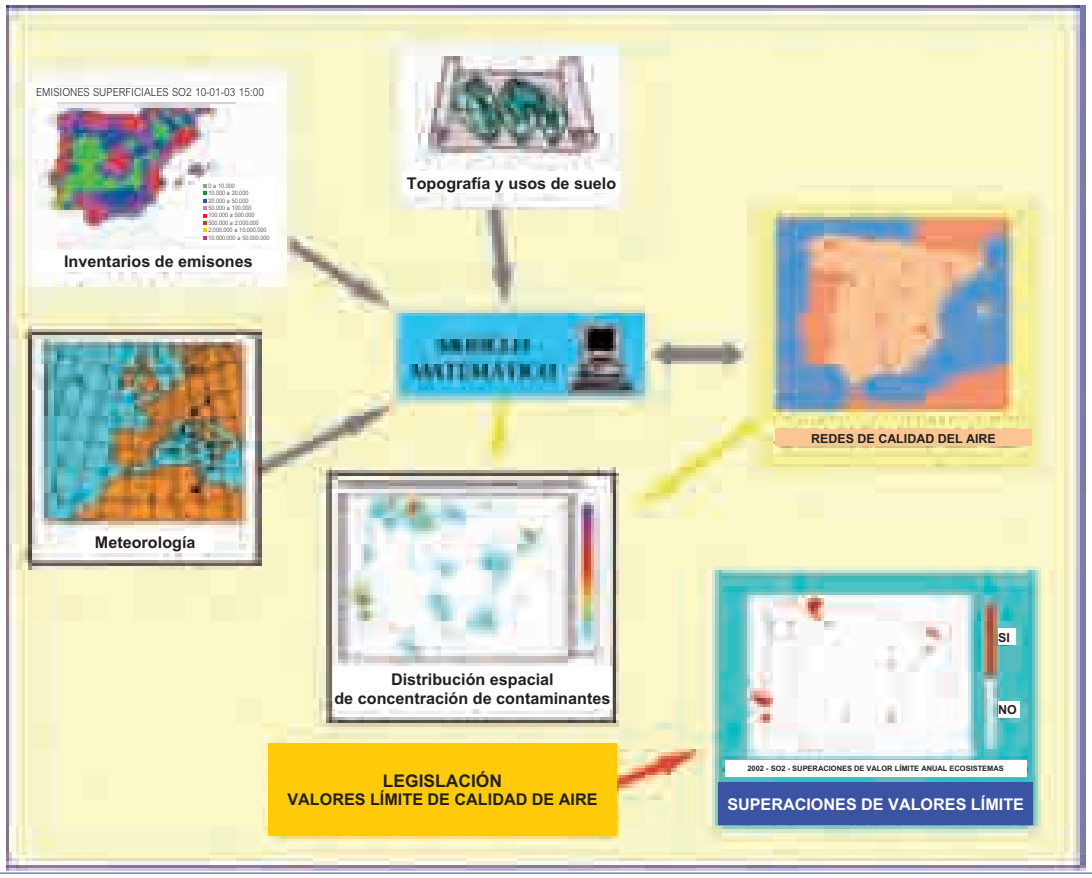
La metodología utilizada (Ver **apartado 1.2**) consiste en la realización de simulaciones anuales de la evolución de los contaminantes atmosféricos con modelos meteorológicos y de dispersión de contaminantes usando inventarios de emisiones de contaminantes y otros datos de entrada para la Península Ibérica y Baleares y la posterior combinación de los resultados de las simulaciones con las mediciones de las redes de medida de la calidad del aire (**Figura 3.6.1**).

A lo largo de los años de trabajo la metodología utilizada se ha ido refinando y mejorando, utilizando mejores modelos meteorológicos y de dispersión, aumentando la resolución espacial de la malla de cálculo, aplicando nuevas técnicas de combinación de mediciones y modelos, etc. Esto queda reflejado en los modelos aplicados en los últimos años y en la configuración de la modelización que se desarrolla en el apartado 1.2 sobre metodología.

Los modelos desarrollados fueron ejecutados para los años completos obteniéndose mapas de concentración de contaminantes. Estos modelos han mostrado en estudios específicos que se ajustan bastante bien a las observaciones en estaciones de calidad del aire, como puede comprobarse en Vivanco *et al*. (2009).

Los resultados de los modelos son combinados con las mediciones de las estaciones de calidad del aire de tal forma que éstas corrigen desviaciones de los modelos y los modelos aportan una distribución espacial de los contaminantes consistente con la distribución de las fuentes emisoras de contaminantes y de los patrones de dispersión en atmósfera.

FIGURA 3.6.1. Esquema seguido para la evaluación de la calidad del aire conjugando los resultados de los modelos y las mediciones en estaciones fijas.



Fuente: CIEMAT, 2012.

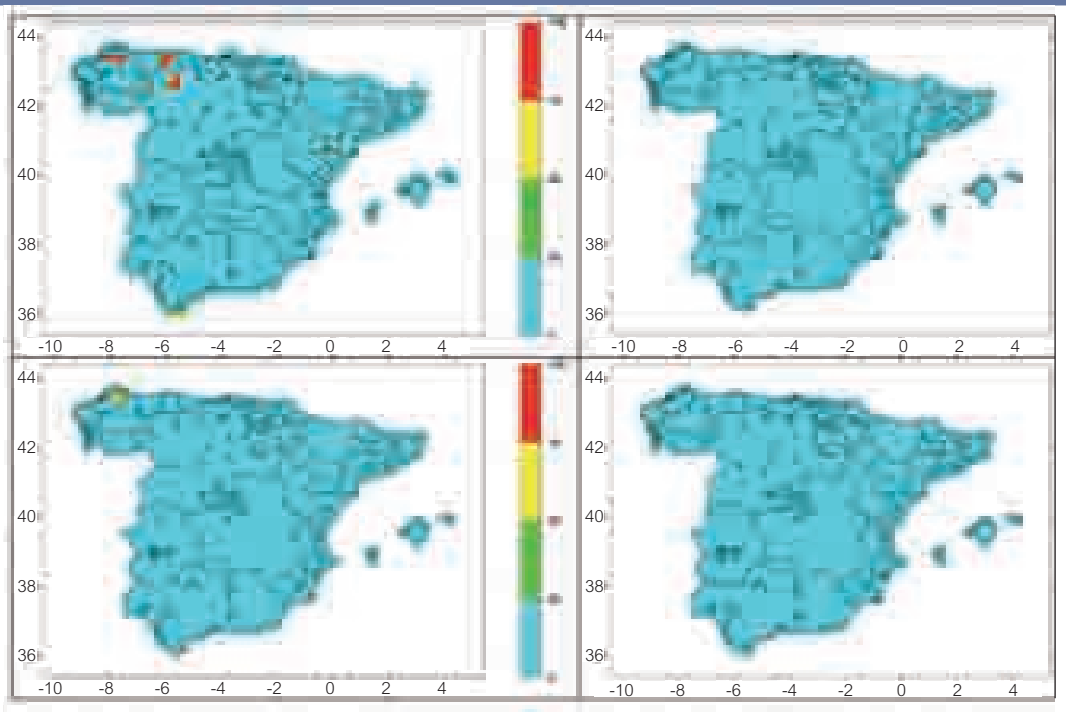
Esta metodología se basa en técnicas de geoestadística y permite estimar la probabilidad de superaciones de los valores límite y objetivo de cada contaminante que establece el Real Decreto 102/2011 en cada celda del dominio que cubre la Península Ibérica y Baleares. Más detalles sobre esta metodología pueden consultarse en Martín *et al*. (2009) y Martín *et al*., (2011).

A continuación, se analizan los resultados de la evaluación de la calidad del aire aplicando esta metodología para varios contaminantes en el periodo 2007-2010.

En el caso del dióxido de azufre (SO_2), se muestra que las superaciones de valores límite anuales se concentran en los alrededores de las grandes centrales térmicas y cómo hay una marcada variabilidad interanual (Figura 3.6.2). Esta variabilidad viene condicionada principalmente por la variabilidad de las emisiones de estas centrales, ya que su funcionamiento es muy distinto de un año a otro, dependiendo de la demanda, que a su vez viene condicionada por la climatología de cada año. Los años lluviosos dan lugar a una mayor producción de energía hidroeléctrica disminuyendo la demanda de energía termoeléctrica.

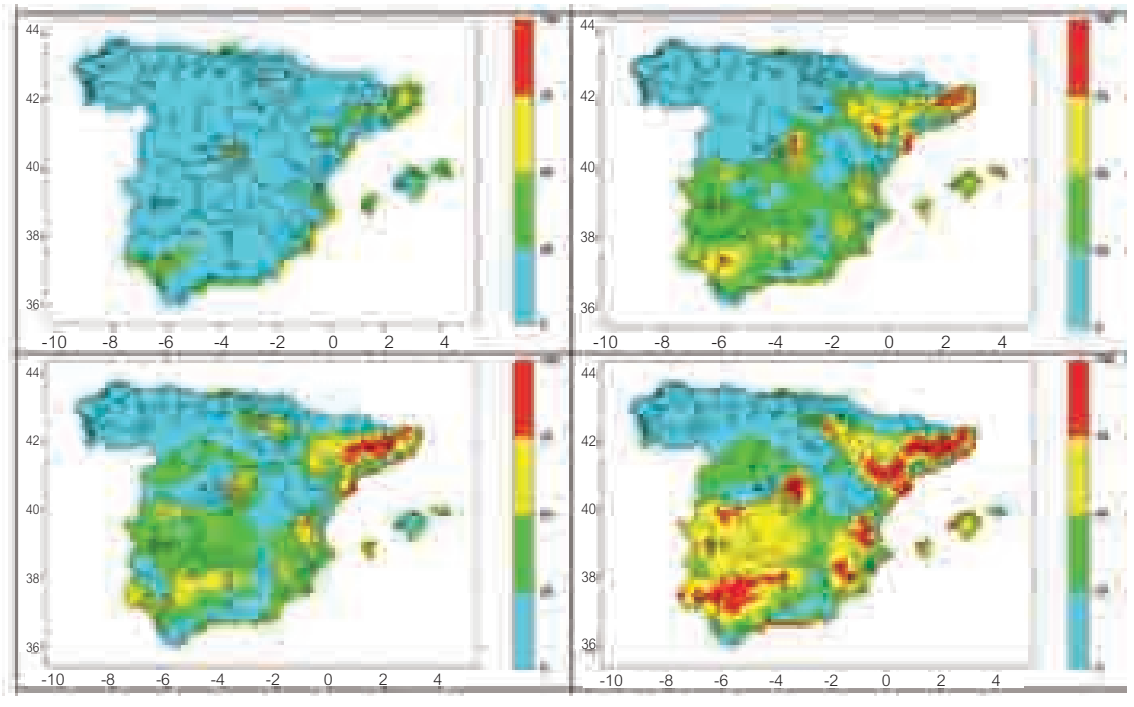
Otro contaminante con un comportamiento anual muy diferente es el ozono (Figura 3.6.3). En este caso, la extensión de las zonas afectada por incumplimiento del valor objetivo más de 25 superaciones de 120μg m^{-3} (en media octohoraria máxima diaria) ha ido creciendo año a año. Además del papel de las emisiones de precursores de ozono (óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles), este incremento está muy relacionado con las condiciones atmosféricas en el semestre abril-septiembre. Los años de temperaturas veraniegas más altas y más radiación solar, que facilitan la formación de ozono, tienden a presentar concentraciones más altas. Las zonas con mayores probabilidades de incumplimiento del valor objetivo se sitúan en el área mediterránea, Valles del Guadalquivir y del Ebro y en las zonas de influencia de Madrid y Barcelona.

FIGURA 3.6.2. Probabilidad de superación (%) del valor límite anual de SO_2 (20µg m^{-3}) en los años 2007 (arriba-izda), 2008 (arriba-dcha), 2009 (abajo-izda) y 2010 (abajo-dcha).



Fuente: CIEMAT, 2012.

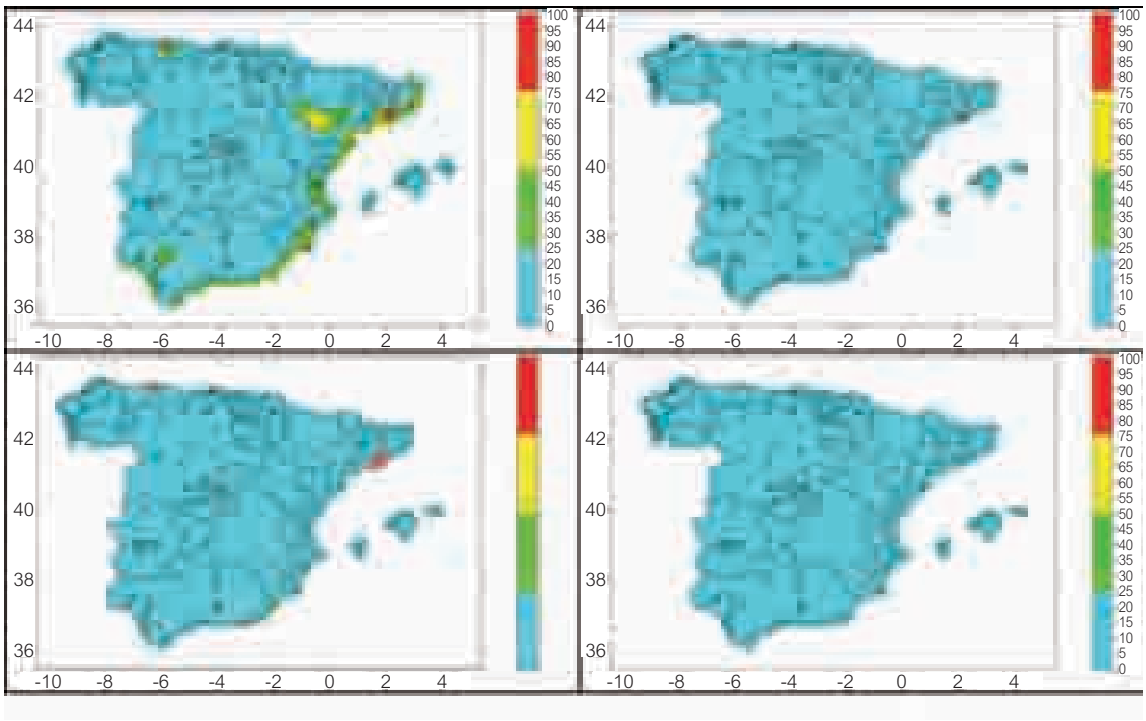
FIGURA 3.6.3. Probabilidad de incumplimiento (%) del valor objetivo de O_3 (120µg m^{-3} en media octohoraria) en los años 2007 (arriba-izda), 2008 (arriba-dcha), 2009 (abajo-izda) y 2010 (abajo-dcha).



Fuente: CIEMAT, 2012.

En cuanto a las partículas en suspensión de diámetro inferior a 10 micras (PM_{10}), se observa que las superaciones del valor límite anual se localizan especialmente en zonas urbanas ligadas muy afectadas por el tráfico. Hay que indicar que en este cómputo se han descartado los episodios de intrusiones de polvo procedente del Sahara. La legislación establece que se deben descontar las superaciones de valores límite que sean debidas a causas naturales como en este caso.

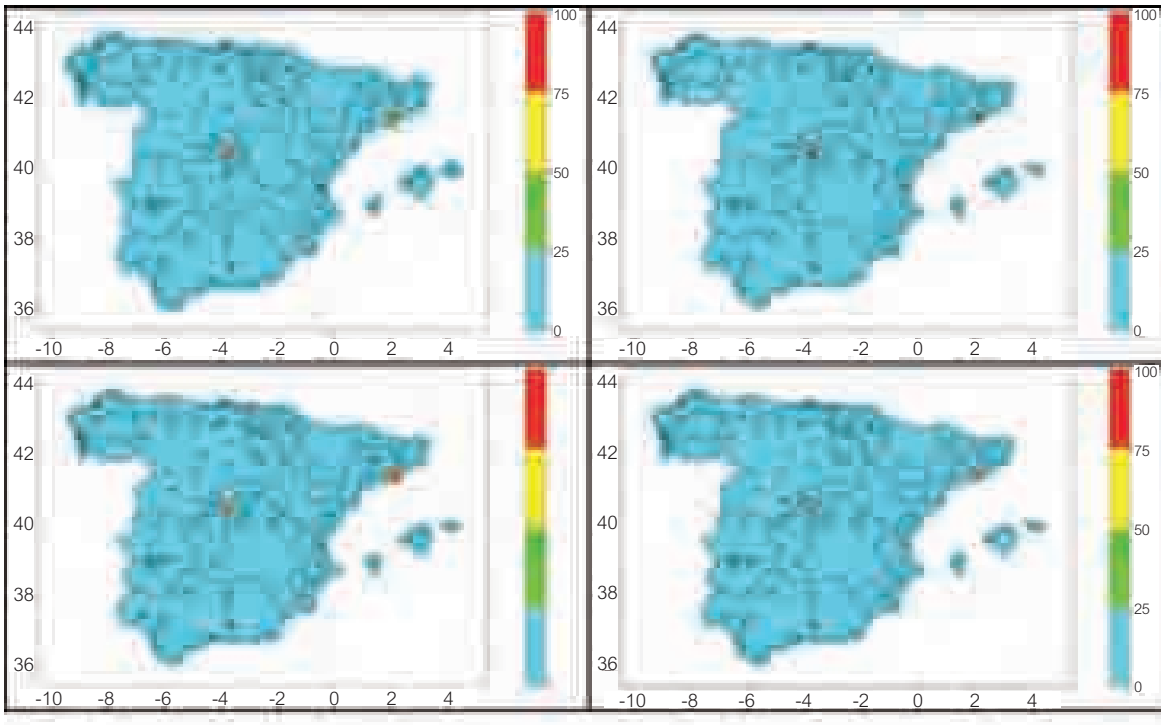
FIGURA 3.6.4. Probabilidad de superación (%) del valor límite anual de PM_{10} (40µg m^{-3}) en los años 2007 (arriba-izda), 2008 (arriba-dcha), 2009 (abajo-izda) y 2010 (abajo-dcha).



Fuente: CIEMAT, 2012.

Finalmente otro contaminante de espacial relevancia es el dióxido de nitrógeno (NO_2). Este es un contaminante emitido mayoritariamente en procesos de combustión y es el tráfico su foco dominante. Por ello, las zonas de superaciones del valor límite, se concentran principalmente en las ciudades, especialmente en las más grandes como Madrid y Barcelona, que en todos los años presentan varias zonas de superación.

FIGURA 3.6.5. Probabilidad de superación (%) del valor límite anual de NO_2 (40µg m^{-3}) en los años 2007 (arriba-izda), 2008 (arriba-dcha), 2009 (abajo-izda) y 2010 (abajo-dcha).



Fuente: CIEMAT, 2012.

3.6.3. Modelos a escala de calle: ejemplo de herramienta para la mejora de la calidad del aire

La contaminación atmosférica en una calle está compuesta por contribuciones de fuentes ajenas a la ciudad (fondo regional), de la propia ciudad (fondo urbano) y de la propia calle (fuentes locales). Estas fuentes locales son principalmente el tráfico de vehículos. La contribución de estas fuentes a la calidad del aire vienen determinadas por las emisiones de contaminantes, la meteorología y también por la estructura de la ciudad.

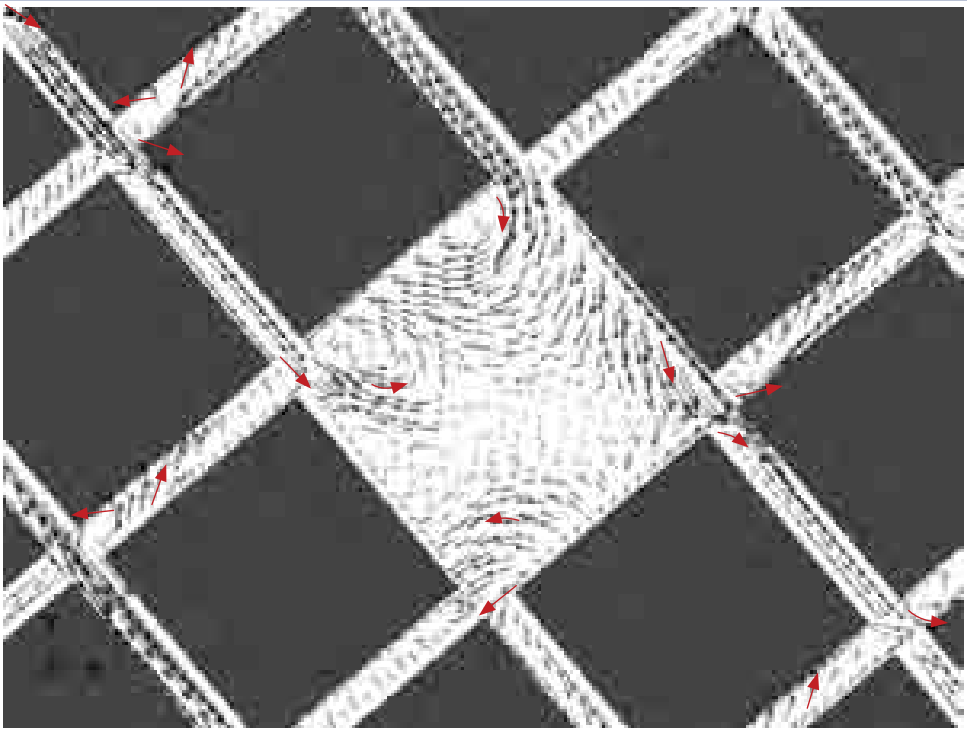
Como ya se ha señalado una ciudad está compuesta por elementos de distintos materiales y características geométricas: edificios de diferentes alturas y formas, árboles, coches, etc. Estos elementos, especialmente edificios y árboles, modifican la atmósfera urbana generando una serie de circulaciones de aire bastante complejas dentro de las calles y plazas (Figura 3.6.6).

Desde el punto de vista de la calidad del aire, la importancia de caracterizar bien estas circulaciones radica en que este viento es el responsable de arrastrar y distribuir dentro de calles y plazas los contaminantes emitidos principalmente por el tráfico a nivel del suelo. La distribución de contaminantes va a depender de la disposición de los edificios, de la meteorología y las emisiones. En general, dentro de las calles se suelen encontrar diferencias de concentración de contaminantes considerables entre puntos relativamente cercanos (separados apenas unas decenas de metros), es decir hay zonas donde los contaminantes quedan atrapados y otras que son fácilmente ventiladas. Por ejemplo, en determinadas condiciones se puede encontrar más concentración de contaminantes en una acera de una calle (“street canyon”) que en la otra (Figura 3.6.7).

Dada esta variabilidad en la concentración y la presencia de puntos con alta concentración (“hot-spots”), los modelos pueden ser una herramienta útil para entender cómo se distribuyen los contaminantes en zonas urbanas y calles y que ayude a controlar la calidad del aire que respiramos en las ciudades. Con estos resultados se pueden abordar problemas tanto de identificación de “hot-spots” urbanos

como de ayuda al diseño de planes de mejora de calidad de aire, ya que los modelos permiten estudiar situaciones hipotéticas que ayuden a la planificación. Sin embargo, para poder modelizar los mapas de concentración dentro de calles y plazas necesitamos una resolución espacial del orden de 1 ó 2 metros. Es en este punto donde juegan un papel importante los modelos CFD ("Computational Fluid Dynamics").

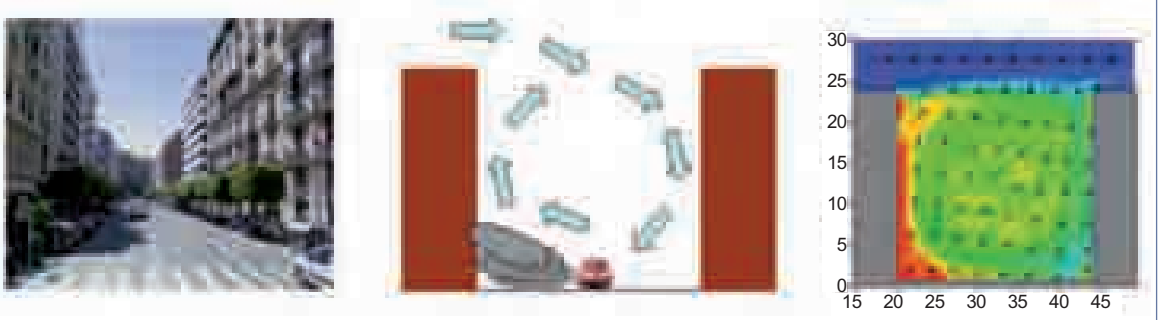
FIGURA 3.6.6. Ejemplo de circulaciones de viento dentro de una plaza.



Fuente: CIEMAT, 2012.

Debido a los avances computacionales en los últimos años, estos modelos de alta resolución permiten actualmente simular detalladamente las circulaciones del viento y la dispersión de contaminantes en las calles de una ciudad estimando la calidad del aire que los ciudadanos realmente respiran. Como desventaja de estos modelos está el elevado tiempo computacional que requieren por lo que aún no es posible simular en tiempo real y han de aplicarse a áreas reducidas de menos de 1km x 1km. Por este motivo, se desarrollan metodologías para poder aplicarlos durante periodos largos de tiempo.

FIGURA 3.6.7. Ejemplo de *"street canyon"* y su distribución de contaminantes cuando el viento incide de manera perpendicular a la calle. a) Fotografía de una calle real de este tipo, b) esquema 2D de la calle y distribución de contaminantes, c) ejemplo de mapa de concentración (corte vertical) de una simulación de la dispersión de un contaminante dentro de una calle.

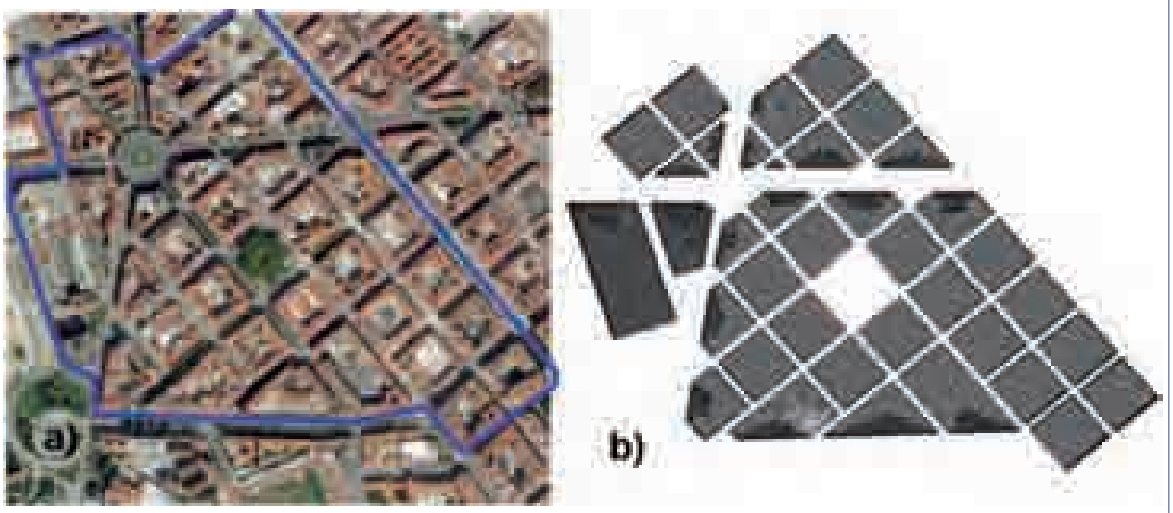


Fuente: CIEMAT, 2012.

Recientemente se ha diseñado una metodología y se ha contrastado experimentalmente en una plaza de Pamplona. Esta metodología consiste en simular escenarios individuales con distintas direcciones (16 direcciones) de viento sobre la ciudad y con una emisión distinta de contaminantes debida al tráfico. Esto permite estimar la contribución de las emisiones de cada calle a la contaminación total. Cada hora del día, el viento sopla sobre la ciudad con una dirección determinada que se corresponderá a uno de los casos que previamente se han simulado. Los resultados de esa simulación se asignan a esa hora y se modulan aplicando factores como el número de coches en cada calle, la velocidad del viento, etc. Más detalles sobre la metodología y la validación pueden ser encontrados en Parra *et al*. (2010) y Santiago *et al*. (2010).

En este análisis se va a mostrar un ejemplo de la utilidad de su aplicación para mejorar la calidad del aire sobre este escenario de una zona de Pamplona (Figura 3.6.8). La zona está compuesta por edificios de una altura aproximada de 15 m. El periodo de estudio ha sido enero y febrero de 2007, donde se han simulado solo periodos diurnos (8h-20h). En esta zona existe una diferencia notable entre la densidad de tráfico (y por tanto las emisiones) de las calles. Hay dos grandes avenidas (E1 y E2, Figura 3.6.10), calles de tráfico medio alrededor de la plaza (E3) y una calle con poco tráfico (E4).

FIGURA 3.6.8. a) Imagen de la zona de Pamplona. b) Dominio numérico digitalizado de la zona de Pamplona.



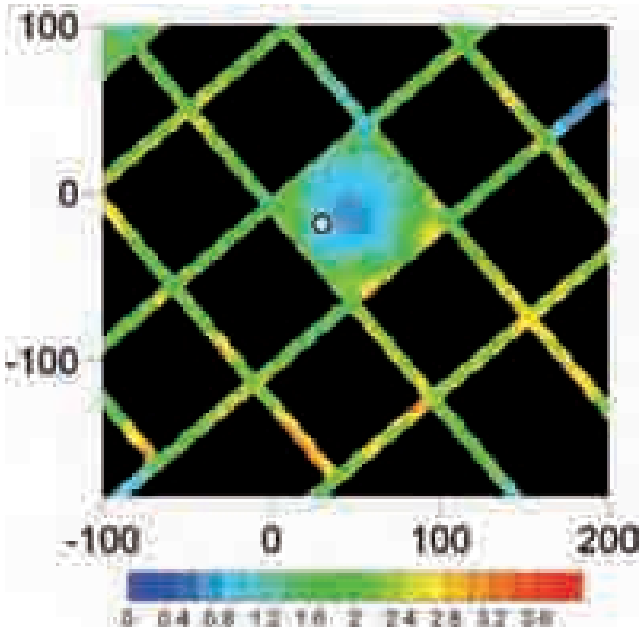
Fuente: CIEMAT, 2012.

Para cada dirección de viento se obtiene una distribución distinta donde se observan "hot-spots" debidos al tráfico. Pero incluso cuando se hace el promedio sobre todo el periodo de tiempo estudiado teniendo en cuenta las diferentes condiciones meteorológicas, se siguen observando altas diferencias de concentración entre distintos puntos cercanos de la zona. Según los resultados obtenidos la concentración dentro de una calle puede ser varias veces mayor a la que pueda haber en la plaza. Esto nos hace pensar la importancia que tiene analizar la calidad del aire de una zona urbana a una alta resolución y cómo con un solo punto de medida de la contaminación en la mayoría de las situaciones puede no ser suficientemente representativo. En la Figura 3.6.9 se muestra el mapa de concentración promedio durante todo el periodo de tiempo estudiado. Los valores están normalizados con la concentración en el punto marcado con el círculo.

La concentración en un punto de una calle no solo es debida a las emisiones de esa calle sino que también pueden influir las de alrededor. Los modelos nos presentan la ventaja de poder estimar la contribución debida a los vehículos de cada calle a la concentración total, como se muestra en la Figura 3.6.10 para un escenario meteorológico. Esto nos permite analizar situaciones hipotéticas donde

podemos cambiar de manera virtual la distribución del tráfico y estudiar su efecto sobre la calidad del aire. En este ejemplo se estudia el posible impacto que tendría una redistribución simple del tráfico.

FIGURA 3.6.9. Concentración promedio durante los meses estudiados normalizada con la concentración promedio en el punto marcado con el círculo en la plaza, es decir, la concentración normalizada sería 1 en el punto.



Fuente: CIEMAT, 2012.

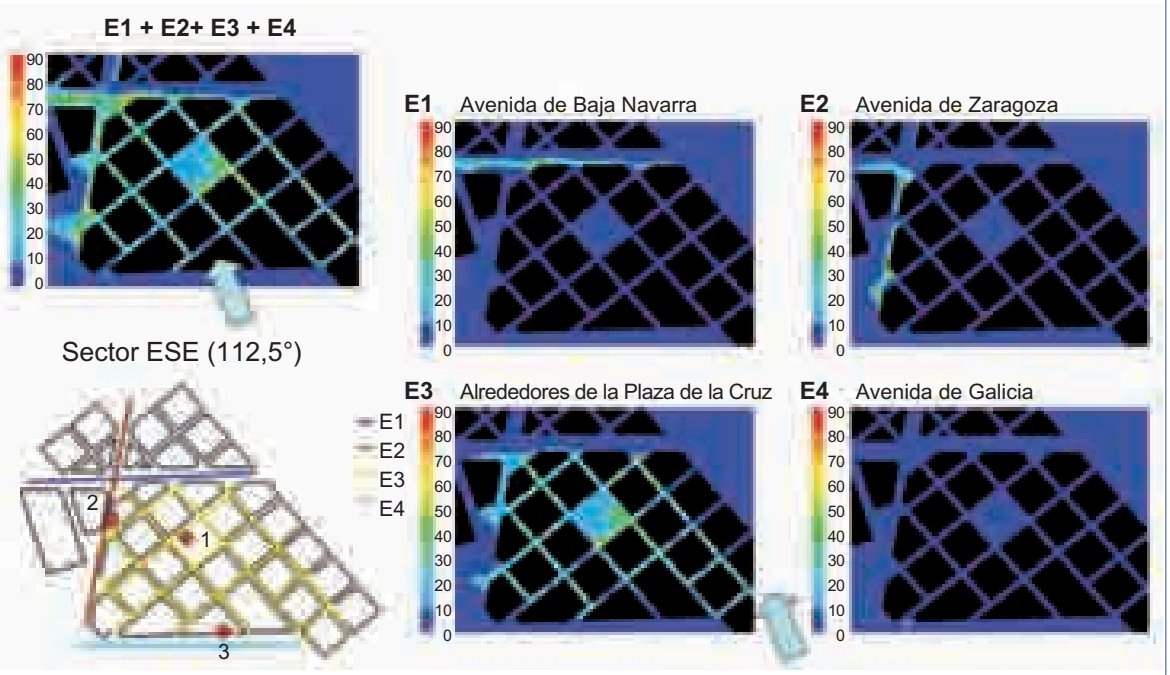
La concentración en un punto de una calle no solo es debida a las emisiones de esa calle sino que también pueden influir las de alrededor. Los modelos nos presentan la ventaja de poder estimar la contribución debida a los vehículos de cada calle a la concentración total, como se muestra en la Figura 3.6.10 para un escenario meteorológico. Esto nos permite analizar situaciones hipotéticas donde podemos cambiar de manera virtual la distribución del tráfico y estudiar su efecto sobre la calidad del aire. En este ejemplo se estudia el posible impacto que tendría una redistribución simple del tráfico.

El estudio se centra en los puntos 1, 2 y 3 (Figura 3.6.10) y analiza la calidad del aire en términos de superaciones de un valor límite en esos puntos. Se establece como un valor límite el doble del valor promedio en el punto 1 durante todo el periodo de tiempo para hacer este ejercicio. No es un valor límite real sino uno establecido para este estudio de demostración.

Antes de hacer la redistribución de tráfico se observó que los puntos 1 y 2 tienen el número más alto de superaciones y son debidos a las emisiones 3 y 2. Luego, como medida hipotética se propone reorganizar el tráfico reduciendo el número de vehículos que pasan por esas calles e incrementarlo en las calles 1 y 4. La hipotética redistribución realizada fue disminuir un 30% el número de coches en esas calles y de esos vehículos pasar el 75% a la calle 1 y el 25% a la calle 4, es decir se mantiene el número total de coches que circulan por las cuatro calles (Tabla 3.6.1).

Los mapas de concentración cambiarían después de la reorganización del tráfico y la contaminación incrementaría en unas zonas y disminuiría en otras. En la Tabla 3.6.1 se observa que se reducirían notablemente las superaciones de los puntos 1 y 2 a costa de aumentar levemente las del punto 3. Esto sucede porque en el punto 3 la concentración no era alta antes de la reorganización y después de la misma, este punto seguiría siendo el de menor concentración de los tres contemplados. De esta manera, el balance podría ser considerado positivo globalmente en cuanto a mejora de calidad de aire.

FIGURA 3.6.10. Contribución de las emisiones de cada calle a la contaminación en el área de estudio para un escenario con viento procedente del ESE.



Fuente: CIEMAT, 2012.

TABLA 3.6.1. Concentración normalizada y número de superaciones sobre un valor límite virtual en los puntos 1, 2 y 3 (Figura 3.6.10) antes y después de la hipotética reorganización del tráfico.

		CONCENTRACIÓN NORMALIZADA MEDIA	SUPERACIONES VL SUPUESTO
PUNTO 1	Antes	1.0	77
	Después	0.72	26
PUNTO 2	Antes	2.2	336
	Después	1.6	223
PUNTO 3	Antes	0.35	6
	Después	0.55	10

Fuente: Comisión Europea.

En resumen, este es un ejemplo simple de la utilidad de los modelos como herramienta de mejora de la calidad del aire, en este caso analizando situaciones hipotéticas y estimando el impacto de una posible redistribución del tráfico. También se podrían estudiar escenarios más realistas con redistribuciones o reducciones de tráfico más complejas.

3.7. Efecto de la contaminación atmosférica urbana en la periferia

Las emisiones de contaminantes atmosféricos producidas en las ciudades sufren procesos de dispersión, transformaciones químicas en la atmósfera y transporte fuera de la ciudad, pudiendo

afectar a zonas de la periferia. A pesar de la importancia de las ciudades como focos de emisión de contaminantes atmosféricos, en general se dispone de poca información sobre la distribución espacial y temporal de los contaminantes en áreas rurales y naturales cercanas a grandes urbes. Esto se debe a que las redes de seguimiento de calidad del aire fueron diseñadas inicialmente para la protección de la salud humana, por lo que sus estaciones de medida se localizan mayoritariamente en los núcleos urbanos.

En particular, existe muy poca información sobre las concentraciones de contaminantes atmosféricos en zonas de montaña cercanas a grandes ciudades, áreas con un alto valor ambiental y social por ofrecer múltiples servicios, como son el suministro de agua, madera, usos recreativos, educativos, control del clima y mantenimiento de la biodiversidad.

Fuera de las áreas urbanas y/o industriales, el ozono (O_3) troposférico está considerado como el contaminante atmosférico más importante en la región mediterránea, debido a que las características climatológicas, con altas temperaturas y radiación solar, junto con la estabilidad en las masas de aire, favorecen la formación de contaminantes secundarios como el O_3 (Millán *et al*., 2000).

El O_3 es un potente agente oxidante que puede provocar efectos sobre la salud humana, causando irritación de ojos y vías respiratorias, aumentando la susceptibilidad a los alergenos respiratorios y reduciendo la función pulmonar. El O_3 también afecta a los ecosistemas, principalmente alterando la fisiología y crecimiento de la vegetación, lo que puede provocar cambios en la estructura y diversidad de las comunidades y en los ciclos de nutrientes y relaciones hídricas.

El O_3 troposférico es un contaminante secundario que se produce en la atmósfera mediante reacciones fotoquímicas complejas a partir de unos compuestos precursores, como son los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles (COV) y el monóxido de carbono (CO). La producción de ozono es máxima cuando coinciden concentraciones elevadas de precursores con unas condiciones meteorológicas que favorezcan las reacciones fotoquímicas entre ellos, principalmente temperatura y radiación solar elevadas y ausencia de lluvias y vientos fuertes.

3.7.1. La contaminación atmosférica en la periferia de Madrid: gradiente entre Madrid y la Sierra de Guadarrama

La Red de Control de la Calidad del Aire que gestiona la Comunidad de Madrid dispone actualmente de 23 estaciones de medición fijas distribuidas por la región, de las cuales 3 estaciones están consideradas como representativas de zonas rurales y otras 3 estaciones representan las concentraciones de fondo de contaminación que indican el riesgo de que se produzcan daños en la vegetación.

Estudios experimentales previos indicaron que las mayores concentraciones de O_3 se detectan en zonas alejadas de Madrid y ubicadas en las laderas de la sierra por encima de los 1000 m de altitud (Plaza *et al*., 1997; Galán-Madruga *et al*., 2001; Sanz *et al*., 2001).

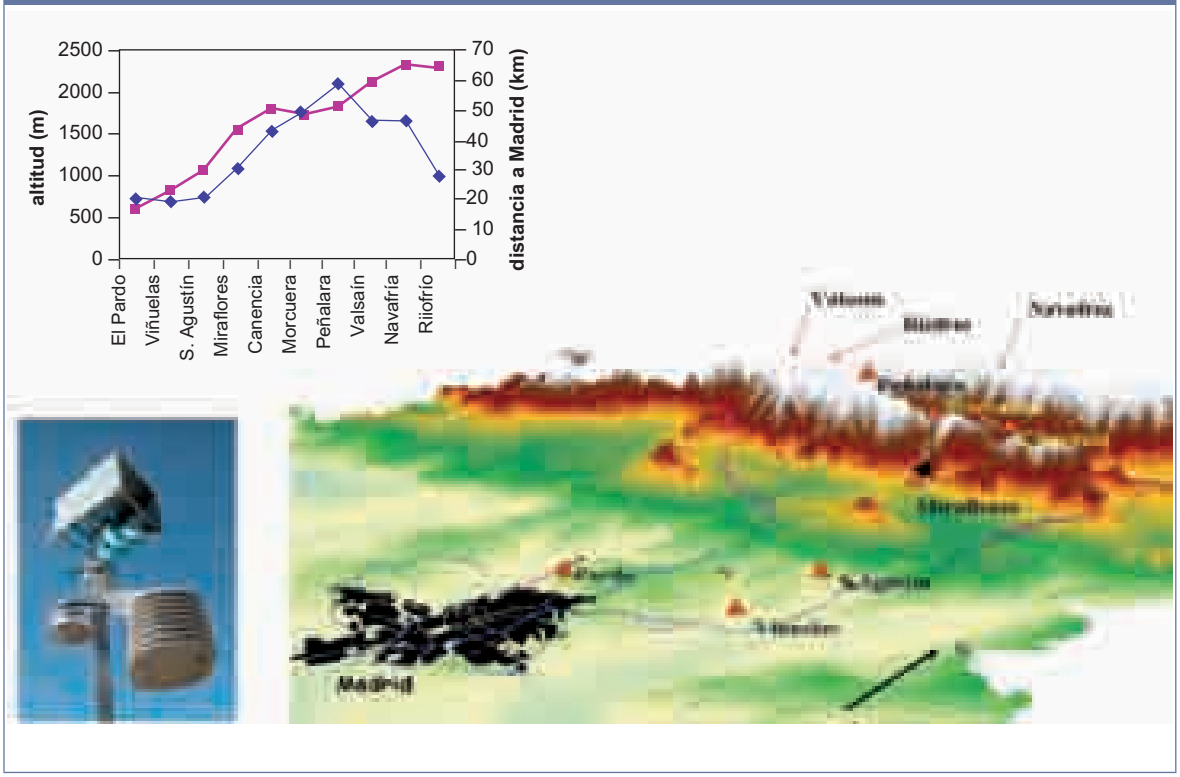
Los resultados de los modelos de dispersión de contaminantes también señalan que son las sierras de Guadarrama y Ayllón las áreas más frecuentemente expuestas a altas concentraciones de O_3 (Palacios *et al*., 2002, 2005), con valores que superan los valores umbrales de daño actualmente definidos por la legislación para la protección de la salud humana y los ecosistemas.

Debido a que la Red de Calidad del Aire de Madrid no dispone de ninguna estación de medida en las zonas de montaña de la sierra de Guadarrama, el Grupo de Ecotoxicidad de la Contaminación Atmosférica del CIEMAT realizó un estudio para caracterizar las concentraciones ambientales de O_3 y compuestos nitrogenados a lo largo de un gradiente altitudinal desde la ciudad de Madrid hasta la sierra de Guadarrama.

Entre 2005 y 2007, se estudiaron las concentraciones atmosféricas de O_3 y NO_2 a lo largo de un gradiente altitudinal desde la ciudad de Madrid hacia la sierra de Guadarrama. Se establecieron 7 parcelas de medida ubicadas en zonas alejadas de fuentes locales de contaminación, como carreteras principales, depuradoras, granjas/establos o zonas de afluencia humana. Las parcelas se distribuyeron entre los 620 m de altitud del punto más bajo, situado en El Pardo, hasta el punto más elevado situado a 2.079 m en el refugio Zabala, dentro del Parque Natural de la Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara, cubriendo una distancia de unos 70 km (**Figura 3.7.1**). Otros 3 puntos se situaron en la vertiente norte de la sierra de Guadarrama, en la provincia de Segovia, entre 1.000 m y 1.600 m, con el fin

de analizar la posibilidad de que la contaminación de la cuenca de Madrid cruce la barrera montañosa y estuviese afectando a zonas situadas al otro lado de la sierra. Todas las parcelas fueron equipadas con dosímetros pasivos tipo Radiello® (Fondazione Salvatore Maugeri, Italia) para la medida de O_3 y dióxido de nitrógeno (NO_2). Esta técnica permite obtener los valores de concentración media de los contaminantes durante el período de exposición del dosímetro, típicamente dos semanas. Los detalles del estudio han sido publicados en Alonso *et al*. (2009).

FIGURA 3.7.1. Distribución de parcelas de medidas desde la ciudad de Madrid hasta la Sierra de Guadarrama.



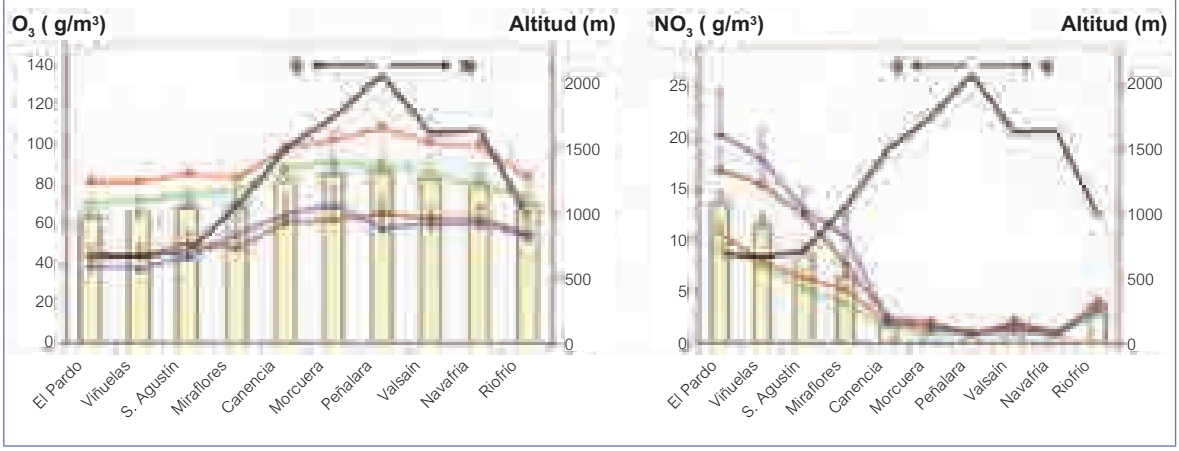
Fuente: CIEMAT, 2012.

Los resultados confirmaron que existe un gradiente de contaminación atmosférica desde la ciudad de Madrid hacia la sierra de Guadarrama. Las concentraciones de O_3 aumentaron con la distancia a Madrid y con la altitud, observándose los mayores niveles promedio en la estación de Peñalara (refugio Zabala), alcanzando valores de 87 µg m^{-3}, mientras que el valor más bajo de 64 µg m^{-3} se registró en El Pardo (**Figura 3.7.2**). El gradiente de concentraciones fue más intenso en verano, momento en el que se registraron los mayores niveles de O_3, alcanzándose una media estacional de 109 µg m^{-3} en Peñalara, mientras que en otoño e invierno las concentraciones de O_3 disminuyeron y se homogeneizaron a lo largo del gradiente.

El patrón de distribución de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO_2) presentó un perfil contrario al observado para el O_3, disminuyendo con la distancia a la ciudad (Figura 3.7.2). La estación del Pardo registró los valores promedio más elevados, cercanos a 14 µg m^{-3}, mientras que lo valores en Peñalara fueron cercanos a 1 µg m^{-3}. Estacionalmente, los valores medios más elevados se registraron en otoño e invierno, con valores invernales de hasta 20 µg m^{-3} en El Pardo, aunque estas diferencias estacionales no se vieron reflejadas en las parcelas situadas por encima de los 1.500 m de altitud, donde los niveles se mantuvieron bajos durante todo el año.

Las altas concentraciones de O_3 que habitualmente se registran en las áreas rurales se forman a partir de las emisiones procedentes de zonas urbanas o industriales que son transportadas por los vientos dominantes, reaccionando en la atmósfera cuando las condiciones atmosféricas son adecuadas.

FIGURA 3.7.2. Gradiente de contaminación atmosférica desde Madrid hacia la sierra de Guadarrama. Promedio total y medias estacionales de las concentraciones de O_3 durante el período junio 2006 - noviembre 2007 y de las concentraciones de NO_2 durante el período junio 2004 - noviembre 2007.



Promedio total; primavera; verano; otoño; invierno

Fuente: CIEMAT, 2012.

En las zonas urbanas, las altas concentraciones de NO_x participan en el complejo ciclo de reacciones fotoquímicas de formación y destrucción de O_3, contribuyendo a mantener bajas concentraciones de O_3 en el interior de la ciudad. En áreas de montaña, es frecuente observar un aumento del O_3 con la altitud, asociado a una mayor producción de O_3 debido a la alta radiación solar, a la disminución de los procesos de destrucción de O_3, y a un mayor intercambio de gases con las capas más altas de la troposfera donde el O_3 puede acumularse y transportarse a largas distancias (Gerosa *et al*., 1999; Alonso y Bytnerowicz, 2003; Ribas y Peñuelas, 2006). Sin embargo, en algunos casos este patrón desaparece a partir de cierta altitud, posiblemente debido a que ocurre una reducción en la formación de O_3 por la disminución de la temperatura, a la vez que se producen efectos de destrucción y absorción por parte de la vegetación (Bytnerowicz *et al*., 2002).

Es importante considerar que en zonas de montaña, la concentración de O_3 está más relacionada con los procesos meteorológicos asociados a su relieve complejo, entre los que destaca el régimen de vientos de ladera, que con la distancia geográfica a la fuente de emisión del contaminante o de sus precursores (Bytznerowicz *et al*., 1999b; Sánchez *et al*., 2005). Por ello, cada área montañosa requiere estudios específicos sobre la distribución de los contaminantes atmosféricos, al no poder aplicarse los modelos tradicionales que predicen su formación, transporte y distribución.

Los resultados obtenidos con los dosímetros pasivos a lo largo del gradiente indican que las concentraciones de O_3 fueron similares en localidades situadas a una misma altitud pero en laderas de distinta orientación (norte/sur) de la sierra de Guadarrama. Por el contrario, las altas concentraciones de NO_2 observadas en otoño e invierno no se detectaron en la ladera segoviana de la sierra.

Este comportamiento indica que el O_3 representa un problema a nivel regional, donde la contaminación atmosférica originada en la ciudad de Madrid es capaz de atravesar la barrera geográfica de la sierra de Guadarrama y afectar a zonas de la meseta norte. En este mismo sentido, Sánchez *et al*. (2005, 2007) encontraron que los picos en los niveles de O_3 registrados en una localidad de la sierra y en Segovia, se detectaban cuando los vientos predominantes soplaban desde el sur, indicando la relación con la contaminación procedente de la ciudad de Madrid.

3.7.2. Riesgo de daños provocados por el ozono para la protección de la vegetación y la salud humana

Dado que los resultados de los dosímetros pasivos indicaron unas altas concentraciones de O_3 en la sierra de Guadarrama, se instaló un monitor automático de medida en continuo de las concentraciones de O_3 ubicado en Cotos (1830 m), a la entrada del Parque Natural de Peñalara.

La disponibilidad de medidas en continuo permite calcular los índices de exposición al O_3 establecidos por la actual Directiva Europea 2008/50/CE de Calidad del Aire y por el Convenio de Ginebra de Naciones Unidas sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia, para determinar el riesgo de daños para la vegetación y la salud humana.

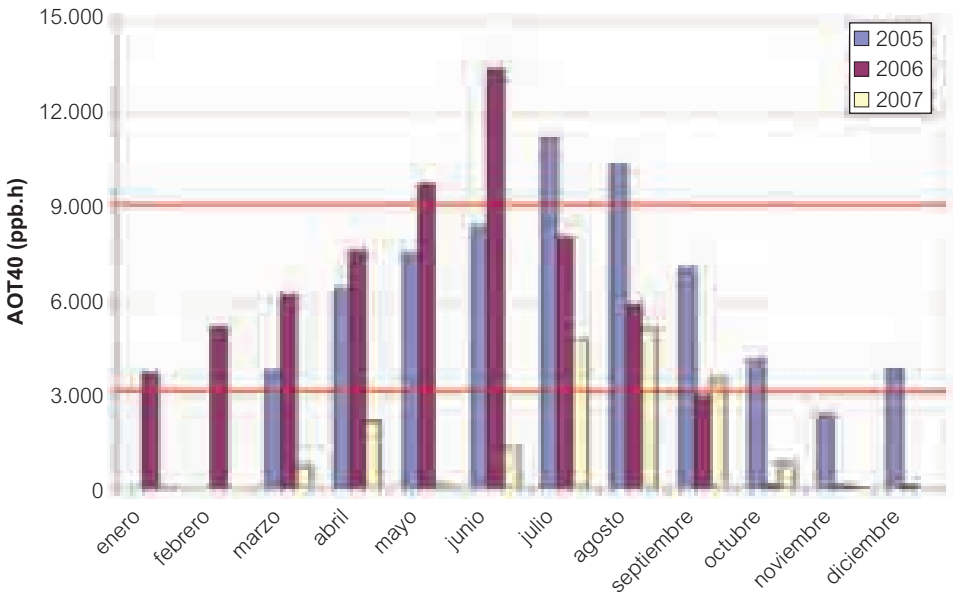
La Figura 3.7.3 representa el índice AOT40 (*Accumulated exposure Over a Threshold of 40 ppb*; índice de exposición al O_3 calculado como la suma durante las horas diurnas de las diferencias entre el promedio horario de concentración de O_3 y 40 ppb; 1 ppb= 1.96 µg m^{-3}) acumulado mensualmente para la estación de Cotos para el periodo 2005-2007.

Según la Directiva de Calidad del Aire, el valor de AOT40 acumulado durante 3 meses (mayo-julio) no debe superar el valor de 9.000 ppb.h (objetivo a cumplir a partir de 2010) como promedio de 5 años, o 3.000 ppb.h (objetivo a cumplir a largo plazo) para asegurar que no existe riesgo de daños para la vegetación sensible. El Convenio de Ginebra también establece un valor límite (nivel crítico) de 3.000 ppb.h expresado como AOT40 acumulado durante 3 meses para asegurar la protección de los cultivos y la vegetación herbácea, y un valor de AOT40 de 5.000 ppb.h acumulado durante 6 meses para la protección de los bosques.

En Cotos, durante los años 2005 y 2006, los valores de AOT40 acumulados durante un solo mes superaron el valor de 3.000 ppb.h entre marzo y septiembre en ambos años. En ocasiones (julio y agosto de 2005 y junio de 2006) en un solo mes se superó el valor de 9.000 ppb.h de exposición. Incluso en el año 2007 que registró los niveles de O_3 más bajos, el valor de 3.000 ppb.h se superó entre julio y septiembre.

El valor de AOT40 acumulado durante 3 meses (mayo-julio) y 6 meses (abril-septiembre) en Cotos en el periodo 2005-2006 se encontró en el rango de 27.321-30.287 ppb.h y 48.687-52.096 ppb.h respectivamente. En 2007, con concentraciones de O_3 más bajas, el índice AOT40 acumulado durante 3 y 6 meses fue de 8.823 y 20.383 ppb.h respectivamente Los rangos observados sobrepasan ampliamente cualquiera de los valores umbrales definidos tanto en la Directiva Europea de Calidad del Aire, como en el Convenio de Ginebra, para la protección de la vegetación.

FIGURA 3.7.3. Índice AOT40 (Accumulated exposure Over a Threshold of 40 ppb; índice de exposición al O_3 calculado como la suma durante las horas diurnas de las diferencias entre el promedio horario de concentración de O_3 y 40 ppb; 1 ppb= 1,96 µg m^{-3}) acumulado mensualmente para la estación de Cotos para el periodo 2005-2007.

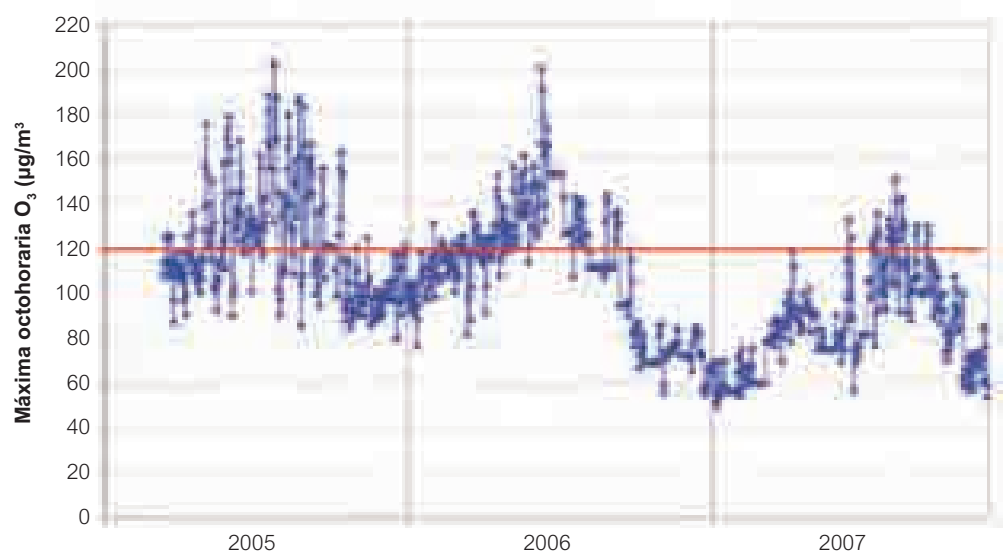


_____: *valores límite para la protección de la vegetación, expresados mediante el índice AOT40 acumulado durante 3 meses: objetivo de 9000 ppb.h a cumplir a partir de 2010; objetivo de 3000 ppb.h a cumplir a largo plazo.*

Fuente: CIEMAT, 2012.

La Figura 3.7.4 representa el índice de exposición que emplea la Directiva Europea para definir los umbrales de riesgo para la salud humana expresado como la media diaria máxima de 8 horas. Este promedio no debe superar el valor de 120 µg m^{-3} durante más de 25 días al año, valor que debe cumplirse a partir de 2010. En los tres años analizados, el número de días al año en que se excede este umbral fue de 138, 153 y 28 para 2005, 2006 y 2007 respectivamente, lo que supone una media para los tres años de 106 días en los que el promedio horario máximo de 8 h supera el valor de 120 µg m^{-3}. Puesto que la Directiva Europea requiere un promedio de 3 años para considerar que los límites definidos para la protección de la salud se han sobrepasado en una localidad, la extensión y resultados del presente estudio permite establecer que entre 2005-2007, en la localidad de Cotos, se han excedido los umbrales de O_3 para asegurar la protección de la salud humana de acuerdo a la legislación europea.

FIGURA 3.7.4. Concentración de ozono en Cotos expresada como media diaria máxima de 8 horas.



———— : *el objetivo de la Directiva 2008/50/EC para la protección de la salud humana a cumplir a partir de 2010: la media diaria máxima de 8 h no debe sobrepasar el valor de 120 µg m-3 más de 25 días al año como promedio de 3 años.*

Fuente: CIEMAT, 2012.

De forma general se puede afirmar que las formaciones vegetales que se localizan en la base y laderas de la cara sur de la sierra de Guadarrama están expuestas de forma crónica a valores elevados de O_3, principalmente durante la primavera y el verano, que pueden representar un factor de riesgo para la conservación de la vegetación. Además, las concentraciones de O_3 que se registran en las zonas altas de la sierra exceden los valores límite para la protección de la salud humana. Por otro lado, las concentraciones medias de NO_2 a lo largo del gradiente se mantuvieron por debajo de los niveles críticos propuestos por el Convenio de Ginebra y por la Directiva Europea de Calidad del Aire para la protección de la salud humana y de la vegetación, aunque las áreas cercanas a la ciudad pueden estar soportando entradas elevadas de compuestos nitrogenados de origen atmosférico que podrían estar afectando a los ecosistemas.

3.8. La ciudad ante el cambio climático: incidencia de la contaminación atmosférica

El cambio climático tiene el potencial de influir sobre todos los componentes del medio ambiente y de originar nuevos y complejos retos para la calidad de vida, la salud y la biodiversidad. Las ciudades,

al igual que el resto del territorio europeo, se verán afectadas por los impactos del cambio climático. Las proyecciones de cambio climático indican:

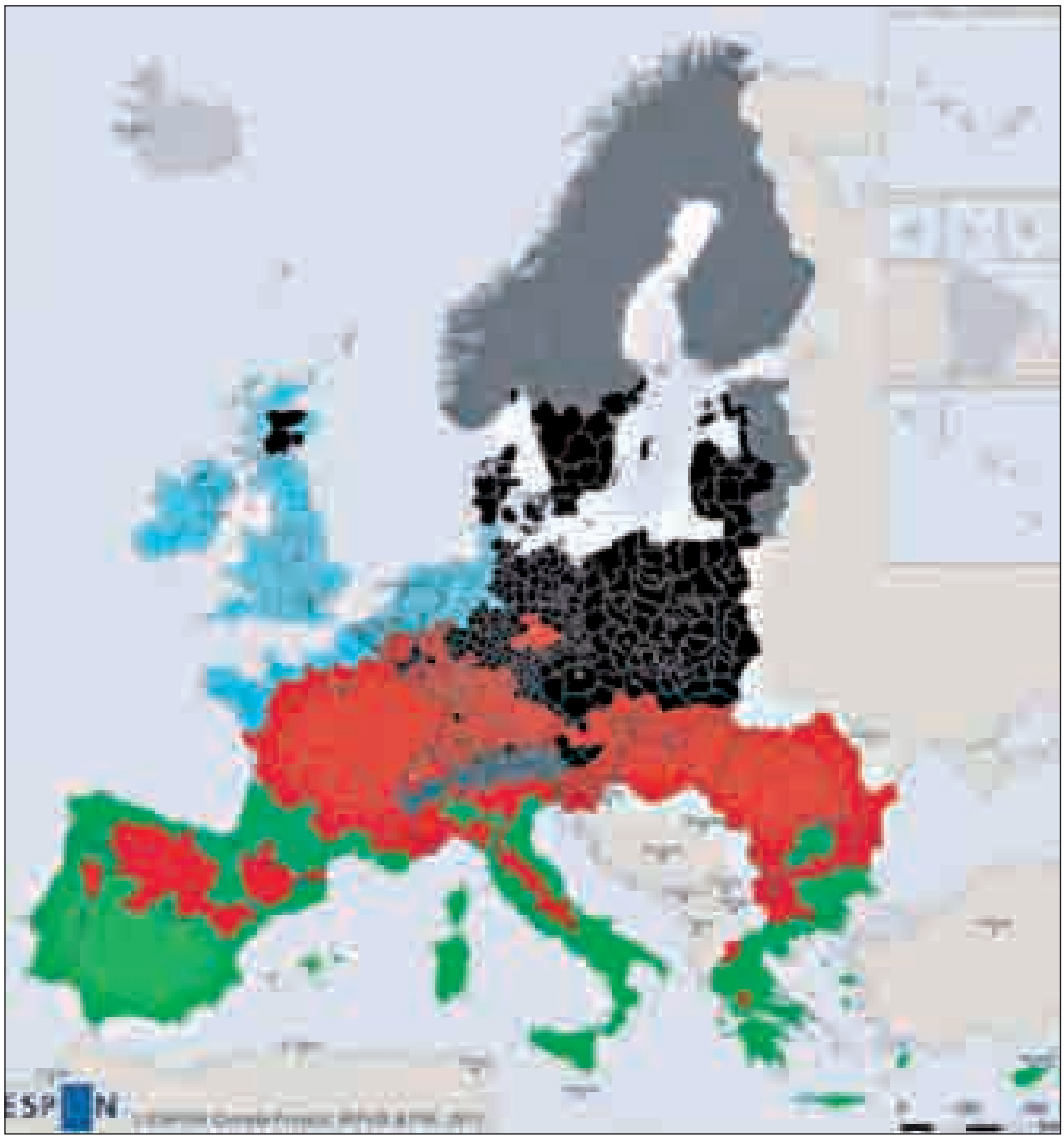
- Un aumento de la temperatura media anual en Europa de entre 2 y 5ºC a finales del presente siglo, con respecto al clima actual.
- Un cambio en los patrones de precipitación, con condiciones más secas en verano en la zona mediterránea y condiciones más húmedas en invierno en el norte de Europa.
- Un aumento del nivel del mar.

Además de los cambios en el clima promedio, se prevé un aumento en el número, intensidad y duración de las olas de calor, los eventos extremos de precipitaciones y las sequías.

El cambio climático y sus impactos no serán uniformes en Europa, sino que las diferentes regiones experimentarán los cambios con diferentes intensidades. En el **mapa 3.8.1** se ilustra como regiones diferentes pueden tener características de cambio climático similares, mientras que en un solo estado miembro, sus regiones pueden presentar características muy distintas.

El **mapa 3.8.1** se basa en un análisis de clúster sobre ocho variables de cambio climático que fueron calculadas sobre la base de una comparación entre el periodo 1961-1990 y las proyecciones climáticas para 2071-2100 del escenario IPCC SRES A1B (Greiving *et al.*, 2011).

MAPA 3.8.1. Regiones europeas agrupadas de acuerdo con los cambios climáticos proyectados.



CAMBIO/ESTÍMULOS	Europa norte y central	Noroeste de Europa	Norte de Europa	Europa sur y central	Europa mediterránea
Cambio en la temperatura media anual	+	+	++	++	++
Disminución en número de días de helada	– –	–	– –	– –	–
Cambio en el número promedio de días de verano al año	+	+	0	++	++
Cambio relativo en las precipitaciones promedio en los meses de invierno	+	+	++	0	–
Cambio relativo en las precipitaciones promedio anuales en meses de verano	–	–	0	– –	– –
Cambio relativo en el número promedio de días con precipitaciones fuertes	0	+	+	0	–
Cambio relativo en la evaporación media anual	+	0	+	0	–
Cambio en el número de días promedio con cubierta de nieve	–	0	– –	0	0

Nota: Clave: ++ Fuerte aumento; + Aumento; 0 no hay cambio; – Disminución; – – Fuerte disminución.

Fuente: Greiving *et al.*, 2011; © ESPON, 2013.

Más allá de los impactos directos del cambio climático sobre las ciudades, como son los problemas de salud debidos al calor o los daños a edificios e infraestructuras debidos a las inundaciones, los impactos indirectos pueden ser mucho más amplios. En un mundo donde las ciudades y regiones están conectadas de múltiples formas con otras ciudades y regiones, el fallo en una parte de esta compleja red puede dar lugar a un efecto en cadena.

En Europa, de los desastres naturales que han ocurrido en las décadas recientes, las olas de calor han sido las causantes de la mayor parte de las fatalidades humanas (EEA, 2010c). El impacto más dramático de las olas de calor es el aumento de la tasa de mortalidad, pero la exposición a un tiempo caluroso puede tener también otros impactos negativos en la salud y el bienestar humano, sobretodo en determinados grupos especialmente sensibles al calor, como son los mayores, los niños pequeños, las mujeres embarazadas y aquellas personas que utilizan determinada medicación (Kovats and Shakoor Hajat, 2008).

Además de los impactos directos sobre la salud debidos al estrés térmico, otros efectos potenciales del calor sobre la salud, como impactos socioeconómicos y medioambientales incluyen:

- Impactos sobre el bienestar (impactos psicológicos, aumento de la violencia y descontento social);
- Impactos sobre los recursos hídricos (contaminación del agua debida a la combinación de baja escorrentía y calor; escasez de agua; cambios en los patrones de enfermedades debidas a vectores).
- Impactos en la economía y en las infraestructuras (productividad reducida de los trabajadores en condiciones de calor extremo; aumento de las admisiones hospitalarias y presión sobre los servicios de ciudades en verano; aumento en los fallos de las redes de transporte en verano; incremento de la demanda de refrigeración en verano; fallo en el suministro de energía (Wilby, 2008; Schauser *et al.*, 2010; EEA *et al.*, 2008; Oke, 1982);
- Cambios en los patrones de enfermedades debidas a vectores.

Está demostrado que las ciudades tienen unas características climáticas diferentes de los alrededores rurales, de tal forma que la radiación solar, la temperatura del aire, la velocidad del viento y, por tanto, la humedad relativa, la cubierta de nubes y la precipitación pueden variar significativamente debido al ambiente construido de las ciudades y de acuerdo con la topografía de la ciudad y de sus alrededores. También hay una serie de factores complejos y diversos dentro de la ciudad que afectan a su clima, como la densidad urbana, la orientación

de las calles, la sombra ocasionada por los edificios de varias alturas y el tipo y la cantidad de vegetación urbana.

Comparado con el clima del "campo", el clima urbano está caracterizado generalmente por temperaturas más elevadas, vientos más débiles y una mayor incidencia de la radiación solar, que varía de acuerdo con el grado de contaminación (Gilbert, 1991, Tabla 3.8.1). Todos estos factores, entre otros, contribuyen, a veces de forma sinérgica, a las diferencias climáticas de las ciudades con respecto a sus alrededores. La contaminación del aire en las zonas urbanas es a menudo de 5 a 25 veces superior a las zonas rurales cercanas (Heidt & Neef, 2008). Entre otros efectos, una contaminación del aire elevada resulta en una menor insolación, pero en una mayor absorción de calor (Fezer, 1995). Otros estudios muestran que las nubes y la lluvia pueden aumentar en las ciudades debido a las mayores concentraciones de materia particulada, que actúan como núcleos de concentración para el agua (Bonan, 2002).

TABLA 3.8.1. Diferencia promedio en los parámetros climáticos de áreas construidas en comparación con las áreas rurales circundantes.

Parámetro climáticos	Características	Comparación con las áreas circundantes
Contaminación del aire	Contaminación gaseosa	5-25 veces más
Radiación solar	Radiación solar global	15-20% menos
	Radiación ultravioleta	15-20% menos
	Duración del tiempo soleado	5-15% menos
Temperatura del aire	Promedio anual	0.5-1.5ºC más
	En días claros	2-6ºC más
	Promedio anual	15-20% menos
	Días de calma	5-20% más
Humedad relativa	Invierno	2% menos
	Verano	8-10% menos
Nubes	Nublado	5-10% más
Precipitación	Precipitación total	5-10% más

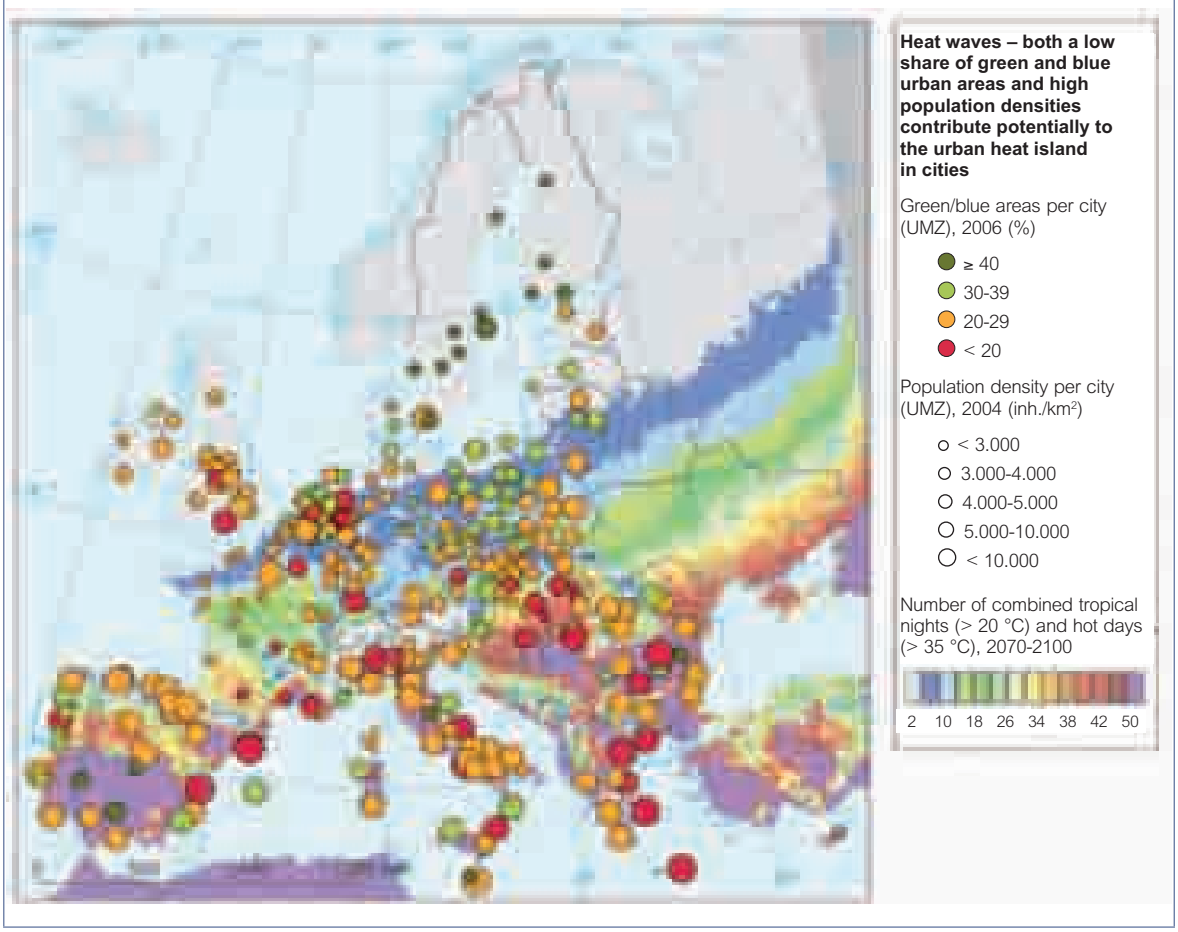
Fuente: GILBERT (1991).

Tal y como se ha señalado anteriormente, el impacto de las olas de calor es especialmente pronunciado en las ciudades y pueblos. La denominada "isla de calor urbano" describe el aumento de la temperatura del aire urbano en comparación con los alrededores rurales. La diferencia de temperatura puede ser de hasta 10ºC o más (Oke, 1982). La diferencia es particularmente fuerte durante la noche.

Por tanto, la fábrica y el diseño urbanos afectan a la intensidad de las olas de calor de ciudades y pueblos (Oke, 1982; Arnfield, 2003; Wilhelmi *et al.*, 2004). Las partes más cálidas de las ciudades y pueblos son, generalmente, aquellas con edificios altos y numerosos, sin espacios verdes; también se incluyen aquellas áreas que generan grandes cantidades de calor antropogénico (AEMA *et al.*, 2008).

En el mapa 3.8.2 se muestra la primera evaluación de los posibles impactos futuros del calor en las ciudades de Europa. El mapa del escenario para el periodo 2071-2100 se superpone con el de densidad de población y el porcentaje de áreas verdes y azules en las principales ciudades europeas. Ambos proporcionan una aproximación al efecto de isla de calor urbano. La densidad de población está asociada con variables como la densidad de edificación, la proporción de áreas verdes/azules y la producción de calor antropogénico (Steeneveld *et al.*, 2011). El mapa indica que existe un gran número de ciudades con un potencial grande de efecto de isla de calor debido a sus bajos porcentajes de zonas verdes y azules urbanas, particularmente en el sureste de Europa donde, además, las densidades de población son más elevadas. En la parte oeste del área mediterránea, el potencial de isla de calor urbano parece ser bastante variable, de tal forma que existen ciudades con un alto potencial y otras con un potencial bajo.

MAPA 3.8.2. Olas de calor – tanto un bajo porcentaje de áreas urbanas verdes y azules como unas densidades de población elevadas pueden contribuir al efecto de isla de calor urbano en las ciudades de Europa.



Fuente: Eurostat, base de datos Urban Audit, 2004; EEA Urban Atlas, 2006.

Las proyecciones de cambio climático indican un aumento en el número de muertes asociadas al calor. El estudio PESETA (Proyección de impactos económicos del cambio climático en sectores de la Unión Europea a partir de un análisis ascendente) proyectó casi 86.000 muertes adicionales por año en 2071-2100 en los Estados Miembros de la UE-27 en comparación con la media de la UE-25 en el periodo 1961-1990. Se estima que la mayor parte de estas muertes tendrá lugar en las ciudades.

De forma adicional, las temperaturas elevadas dan lugar a ciertos problemas de calidad del aire en las ciudades. Parte de los efectos sobre la salud y del incremento en la tasa de mortalidad resultante de las olas de calor puede ser ocasionado por una disminución de la calidad del aire en el ambiente urbano.

La contaminación en las áreas urbanas no solo provoca un estrés adicional en los humanos, sino que algunos contaminantes presentan sinergias con el calor (Nawrot *et al.*, 2007). Por ejemplo, Czarnecka y Nidzgorska-Lencewicz (2011) estudiaron el impacto de los principales elementos meteorológicos en la concentración de dióxido de sulfuro, dióxido de nitrógeno, materia particulada y ozono en condiciones extremas de invierno y verano, obteniendo que las condiciones meteorológicas contribuyeron significativamente a concentraciones elevadas de todos los contaminantes analizados. En dicho estudio, la temperatura del aire afectaba más frecuentemente al ozono en verano y a la inmisión de materia particulada, así como al dióxido de sulfuro en invierno. Por su parte, el papel de la velocidad del viento como factor dispersante afectaba principalmente a las inmisiones de dióxido de nitrógeno en verano y en invierno, y a la materia particulada en invierno. El tiempo caluroso exacerba la contaminación del aire aumentando la

formación de ozono troposférico y, dado que los periodos cálidos normalmente coinciden con los secos, más materia particulada permanece en el aire (AEMA, 2010d). Existen evidencias de que este efecto sinérgico de la tasa de mortalidad debida a altas temperaturas y niveles de ozono está aumentando. Por ejemplo, Filleu *et al*. (2006) analizaron la relación entre la temperatura, el ozono y la mortalidad en nueve ciudades francesas durante la ola de calor de 2003, encontrando que el riesgo de muerte por exceso es significativo en todas ellas para un aumento de 10 µg/m^3 en el nivel de O_3.

Antes, los veranos calurosos y secos con periodos prolongados de presión del aire elevada a lo largo de grandes zonas de Europa, daba lugar a concentraciones de ozono que excedían los valores umbrales mínimos para riesgos en la salud. Un análisis realizado en varias ciudades del Reino Unido ha mostrado que entre el 21 y el 28% de las personas afectadas no lo fueron por el calor, sino por smog y la materia particulada (Stedman, 2004). De hecho, se ha demostrado que en verano, cuando la duración del día y la intensidad solar son mayores, la formación de smog fotoquímico se acelera porque los precursores del ozono, de los óxidos de nitrógeno (NO_x) y de los compuestos orgánicos volátiles (VOC) reaccionan más rápidamente a temperaturas más elevadas (Chameides y Cowling, 1995). Por cada grado centígrado de aumento de la temperatura, la producción de smog se incrementa desde un 7% hasta un 18% (Pomerantz *et al.,* 1999).

3.8.1. Infraestructura gris

Las aproximaciones basadas en la infraestructura gris corresponden a intervenciones físicas o medidas de la construcción que utilizan servicios de ingeniería para hacer los edificios y las infraestructuras más adecuados para el bienestar social y económico de la sociedad, y para resistir mejor los eventos climáticos extremos.

Se prevé que la demanda de aire acondicionado aumente como consecuencia del incremento que se producirá en el futuro en el número de días calurosos y de olas de calor. Este aumento del uso del aire acondicionado dará lugar a su vez a más calor adicional fuera de los edificios y a mayores emisiones de gases de efecto invernadero. Por tanto, es necesario aplicar medidas “pasivas” que proporcionen espacios frescos a través de un diseño de edificios que mantenga las habitaciones a menor temperatura a través de un mejor aislamiento (paredes gruesas y bien diseñadas, ventanas pequeñas, acristalado doble y una selección adecuada de materiales) o espacios públicos que proporcionen sombra y ventilación natural.

En muchos edificios se han aplicado medidas de aislamiento con el fin de reducir el consumo de energía y mitigar el cambio climático. La integración de los requerimientos de adaptación proporcionará incluso un mayor beneficio en relación con los parámetros energéticos y de mitigación. En el caso de que siga siendo necesario un enfriamiento activo de los edificios, deberán promoverse y utilizarse los sistemas de aire acondicionado más eficientes a través de la Directiva de Ecoetiquetado (EC, 2000a) y mecanismos de sensibilización de la población.

Estudio de caso: diseño urbano, consumo energético, clima urbano y contaminación atmosférica

La atmósfera urbana tiene un impacto importante sobre la calidad de vida de los ciudadanos. Su composición determina la cantidad de contaminantes respirados, y sus características termodinámicas (temperatura, humedad, radiación solar, viento) afectan al clima urbano, y consecuentemente al confort térmico.

Existe una problemática que origina en la salud humana la presencia de los óxidos de nitrógeno en la atmósfera, así como las principales fuentes de emisión. Para abordar la eliminación de gases NO_x de la atmósfera se están desarrollando materiales de construcción con aditivos fotocatalizadores como el TiO_2. La adecuada formulación de las materias primas constituyentes permite obtener nuevos morteros de cemento de gran eficiencia para la descontaminación de atmósferas urbanas (Sánchez Granados, L.; Cruz Yusta, M.; Mármol Prados, I. 2012.

Además, el consumo energético debido a sistemas de aire acondicionado o calefacción depende fuertemente del clima urbano. En España (Lopez-Zafra *et al.* 2005), por ejemplo, se ha observado una dependencia de la demanda eléctrica media diaria con la temperatura media tanto en invierno como en verano (Tabla 3.8.2).

TABLA 3.8.2. Variación porcentual de la demanda eléctrica media diaria producido por una variación de la temperatura en +/-1º C.

AÑO	INVIERNO	VERANO
1983	1,85%	0,47%
1993	2,06%	1,07%
2003	1,80%	1,61%

Fuente: LOPEZ-ZAFRA *et al.* 2007.

El fuerte incremento de la variación porcentual de demanda eléctrica en verano entre los años 1983 y 2003 es debida al uso cada vez más extendido de los sistemas de aire acondicionado. Estos aparatos tienen como efecto neto aumentar la temperatura atmosférica en las ciudades (porque emiten a la atmósfera el calor que extraen desde el interior de los edificios, más una cantidad de calor extra que depende de la eficiencia del sistema), generando un fenómeno de retroalimentación.

Si se considera, además, que una correcta gestión del consumo energético en las ciudades (donde se gasta más del 75% de toda la energía producida por el ser humano a nivel mundial) es un elemento clave para limitar el cambio climático, se puede entender por qué es importante comprender y controlar las interacciones entre clima urbano y consumo energético para construir ciudades sostenibles.

Principales interacciones entre estructura urbana y atmósfera

La composición y las características termodinámicas de la atmósfera urbana dependen tanto de las zonas rurales cercanas como de las interacciones entre atmósfera y la misma estructura urbana. De estas últimas, las más importantes son:

1) *Dinámicas.* La presencia de los edificios reduce la velocidad del viento y genera circulaciones complejas y remolinos turbulentos en las calles. Son estas circulaciones que transportan la contaminación emitida, por ejemplo, por los coches y el calor que las superficies urbanas (paredes, calles, techos) intercambian con la atmósfera.
2) *Térmicas.* Los factores más importantes que determinan los flujos de calor en zonas urbanas son:
   a. La escasez de vegetación en las ciudades que hace que haya muy poca agua (respecto a la mayoría de las zonas rurales) disponible para la evaporación. Por esta razón una fracción importante de la energía recibida por radiación solar se transforma en calor sensible (calor que calienta directamente la atmósfera).
   b. Los materiales de construcción tienen características térmicas muy peculiares que favorecen el almacenamiento de calor durante el día, y que después es devuelto a la atmósfera durante la noche. Este es uno de los mecanismos más importantes para la formación de la conocida Isla de Calor Urbano (temperaturas nocturnas más altas en las ciudades que en los alrededores).
   c. La distinta orientación de las superficies urbanas (paredes, calles) favorece el atrapamiento de calor, ya que se generan sombras y reflexiones, que favorecen una mayor absorción (y

menor emisión) de radiación, comparada con una superficie plana y horizontal. Esto también contribuye a que las ciudades sean, en muchos casos, más calientes que las zonas rurales.

d. Las actividades humanas que generan calor (calor antropogénico).

Es importante recordar que los flujos de calor intercambiados entre superficies urbanas y atmósfera son importantes no solamente para el clima urbano, sino también para la calidad del aire, porque determinan la altura en la atmósfera hasta donde se dispersan los contaminantes, lo que se llama "altura de la capa de mezcla". En general, en las ciudades esta altura de la capa de mezcla es mayor que en zonas rurales, lo que haría que los contaminantes tuvieran más espacio para dispersarse, pero como la cantidad de contaminación que se emite es mucho mayor en las ciudades, éstas siguen teniendo peor calidad del aire.

Tanto las interacciones dinámicas como las térmicas dependen de parámetros como las dimensiones de los edificios, la anchura y orientación de las calles etc., en una palabra, de la estructura urbana. Se puede decir entonces, que la estructura urbana es un factor determinante para el clima urbano, el consumo energético y la calidad del aire. Sin embargo, esta estructura es el producto de la acción del hombre y se puede modificar y controlar. Por esta razón, en este caso, los modelos numéricos representan una herramienta muy útil porque permiten estudiar un sistema tan complejo y con muchos efectos no-lineales y también porque permiten evaluar escenarios futuros y pueden ser utilizados como ayuda para la planificación del desarrollo urbano sostenible.

Un ejemplo simple de utilización de un modelo atmosférico para evaluar el impacto de diferentes estructuras urbanas sobre confort térmico y consumo energético.

El modelo numérico utilizado en este estudio es el modelo atmosférico WRF (Weather and Research Forecast model, Skamarock *et al*., 2005), donde se ha implementado una parametrización urbana (Martilli *et al*. 2002) para representar mejor las interacciones entre estructura urbana y atmósfera, conectada con un modelo simple de energética de los edificios (Salamanca *et al*. 2010), que permite estimar tanto los flujos de calor debido a los sistemas de aire acondicionados, como el consumo energético de los mismos. Para investigar la interacción entre estructura urbana, confort térmico y consumo energético, se ha hecho una serie de simulaciones en dos dimensiones sobre diferentes tipos de ciudad dividiéndola en celdas. Las condiciones comunes a todas las ciudades idealizadas investigadas son las siguientes:

- 10 millones habitantes (megaciudad).
- 1 persona cada 50m^2 de vivienda.
- Anchura media de los edificios de 20m.
- Albedo de techos y muros 0.2.
- Temperatura interna para aire acondicionado: 23ºC.
- Caso de Verano (21 Junio), Latitud 45N.

Para analizar el impacto de la densidad de población y el tamaño de la ciudad se han hecho las simulaciones indicadas en la Tabla 3.8.3. Los indicadores utilizados para analizar cada simulación han sido: el consumo energético diario por aire acondicionado por persona y la temperatura del aire acumulada a lo largo del tiempo a 2 m superior a 30ºC en todo el área urbana (AOT-air) y lo mismo para la temperatura media radiante (AOT-mrt)[2].

[2] La temperatura media radiante es una temperatura representativa de las temperaturas de los objetos del entorno, incluido el sol, y es un parámetro muy importante para determinar el confort térmico. En este caso ha sido calculada para un segmento vertical de 1.80m (representando un hombre) en el medio de la calle. Es fuertemente influenciada por la radiación solar.

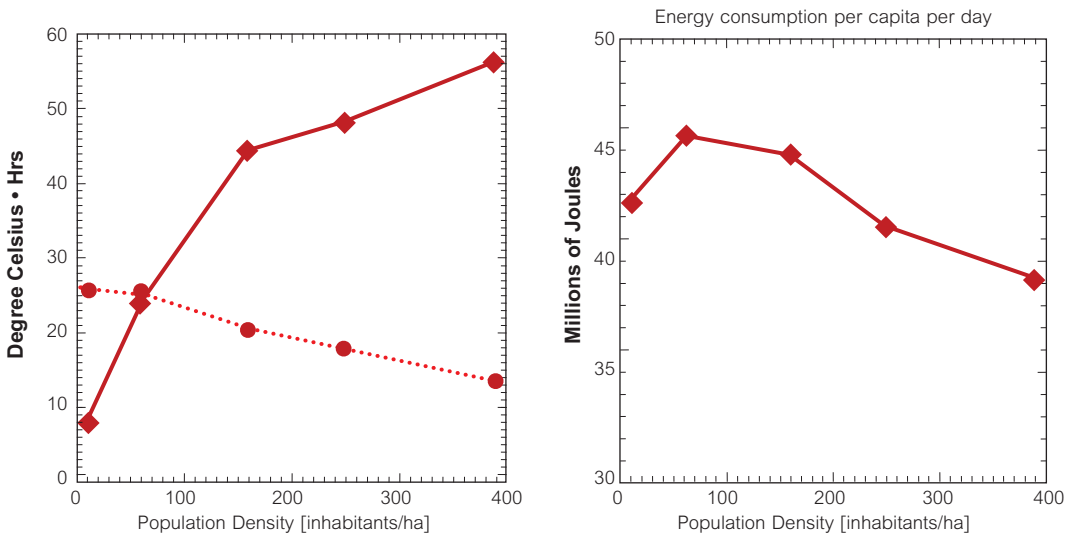
TABLA 3.8.3. Parámetros utilizados en las simulaciones con ciudades de diferentes tamaños.

Tamaño ciudad (km)	Densidad de Población (habitantes hectárea)	Distribución de altura de edificios	Anchura calles (m)	Fracción urbana en cada celda (el restante es zona rural)
100	100	100% 5m	140	40%
40	40	100% 5m	25	70%
25	25	20% 5m 60% 10m 20% 15m	30	100%
20	20	20% 10m 60% 15m 20% 20m	28	100%
16	16	20% 15m 60% 20m 20% 25m	21	100%

Fuente: CIEMAT, 2012.

Las simulaciones indican que al aumentar la densidad de población en las ciudades, aumenta el AOT(air) (Figura 3.8.1). Esto es porque ciudades más densas, en las simulaciones hechas en este estudio, son ciudades con edificios más altos, que, en particular en la tarde y noche, reducen la pérdida de radiación infrarroja, disminuyendo el enfriamiento de origen radiactivo.

FIGURA 3.8.1. Izquierda, evolución promedio sobre los puntos urbanos de AOT (Air) (línea continua) y de AOT(Mrt) (línea punteada), en función de la densidad de población. Derecha, Evolución del consumo energética por habitante debido a aire acondicionado en función de la densidad de población.

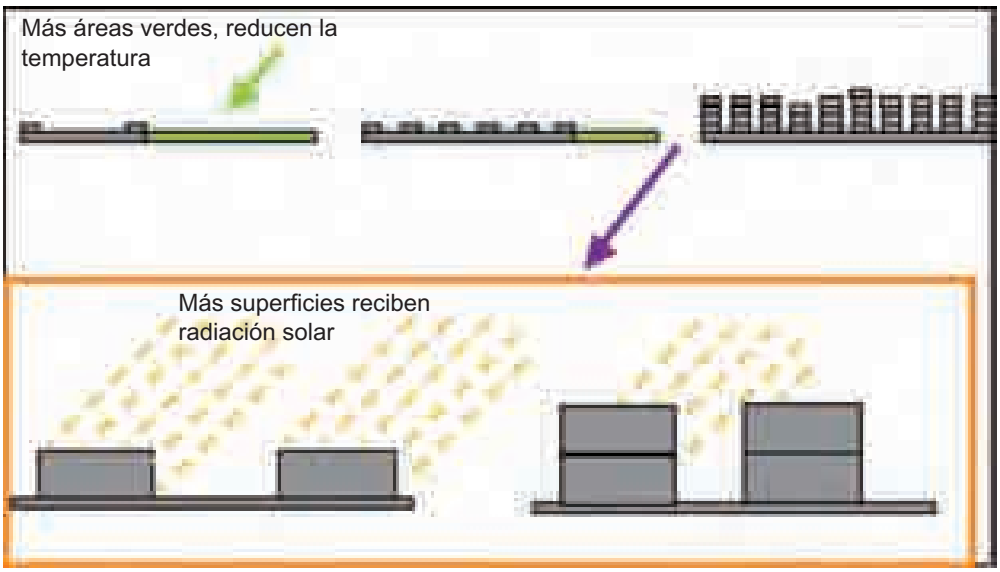


Fuente: CIEMAT, 2012.

Por el contrario, AOT(mrt), que está fuertemente relacionada con la radiación solar, disminuye al aumentar la densidad de edificios. En este caso, lo que domina es la disminución de radiación solar directa que llega al nivel de calle, debido a las sombras de los edificios más altos (Figura 3.8.1). El consumo energético por persona debido a los sistemas de aire acondicionado, evoluciona de manera diferente. El máximo de consumo se ha calculado a densidades intermedias (62 habitantes/hectárea), con disminución para densidades más altas y más bajas (Figura 3.8.1). Una posible explicación de este comportamiento puede ser la siguiente:

- Las ciudades con densidad de población baja tienen una temperatura del aire más baja que las de densidad intermedia. Esto se traduce en un menor consumo energético por sistemas de aire acondicionado.
- Las ciudades con densidad de población alta, tienen necesariamente edificios más altos que las de densidad intermedia. Esto implica que, en las primeras, los edificios reciben menor radiación solar que en las segundas (Figura 3.8.2), y necesitan gastar menos energía para mantener una temperatura de confort en el interior.

FIGURA 3.8.2. Esquema explicativo del diferente comportamiento del consumo energético en función de la densidad urbana.



Fuente: CIEMAT, 2012.

En realidad, la densidad de habitantes no es el único parámetro que determina el consumo energético y el clima urbano. Si se mantiene constante la densidad de habitantes, pero se cambia el porcentaje de zonas verdes (y por consecuencia la altura de los edificios), se puede investigar el impacto de la vegetación de los parques y la estructura urbana sobre el clima urbano y el consumo energético. Para hacerlo, se han considerado los parámetros de la Tabla 3.8.4, a partir de la ciudad de 25km.

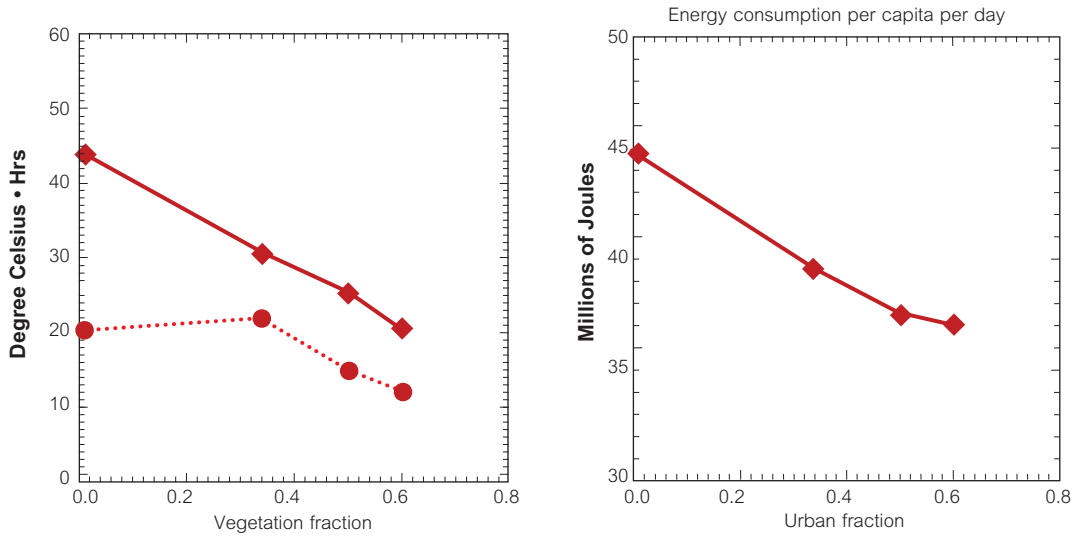
TABLA 3.8.4. Parámetros utilizados en las simulaciones con ciudades de diferente fracción urbana.

Distribución altura edificios	Fracción de vegetación (igual a 1- fracción urbana).
20% 5m 60% **10m** 20% 15m	0.
20% 10m 60% **15m** 20% 20m	0.33
20% 15m 60% **20m** 20% 25m	0.5
20% 20m 60% **25m** 20% 30m	0.6

Fuente: CIEMAT, 2012.

Como se puede ver en la Figura 3.8.3, tanto AOT(air), como AOT(mrt) disminuyen al aumentar la fracción de vegetación en la ciudad. La primera disminuye porque la vegetación reduce el flujo de calor sensible total hacia la atmósfera, y de esta manera reduce la temperatura del aire. La segunda, porque los edificios más altos (necesarios para mantener constante la densidad de habitantes cuando aumenta la fracción de zonas con vegetación), crean más sombras. De la misma manera el consumo energético también se reduce al aumentar el porcentaje de vegetación (Figura 3.8.3).

FIGURA 3.8.3. Izquierda, evolución promedio sobre los puntos urbanos de AOT(Air) (línea continua) y de AOT(Mrt) (línea punteada), en función de la fracción de vegetación urbana para la ciudad de 25 km. Derecha, evolución del consumo energético por habitante debido a aire acondicionado en función de la fracción de vegetación urbana (ciudad de 25 km).



Fuente: CIEMAT, 2012.

Estos simples ejemplos apuntan a que una ciudad densa, con edificios altos y de albedo elevado, con amplias zonas verdes (parques), es la que garantiza el mejor clima y el menor consumo energético en verano. Obviamente, este estudio necesita ser completado analizando las condiciones de invierno y también el impacto sobre la calidad del aire.

Es importante recordar, que cada ciudad real tiene sus características peculiares (colinas, líneas de costa, etc.) que pueden modificar estas conclusiones. Lo más importante es que se dispone de una herramienta numérica que permite hacer este tipo de estudios.

3.8.2. Infraestructura verde

La infraestructura verde es una red interconectada de espacios naturales, incluidos algunos terrenos agrícolas, vías verdes, humedales, parques naturales y urbanos, reservas forestales, y comunidades de plantas autóctonas, que regula de forma natural los caudales de aguas pluviales, la temperatura, el riesgo de inundaciones y la calidad del agua, el aire y los ecosistemas. Tiene por objetivo fortalecer los ecosistemas mediante el desarrollo de una gestión integrada del territorio que proteja y restaure el patrimonio natural, impidiendo la pérdida y la fragmentación de los hábitats.

Los ecosistemas urbanos han sido generalmente analizados en términos de sus diversos impactos sobre la biodiversidad. Sin embargo, en los últimos años, las consideraciones sociales, económicas y ambientales han propiciado una revisión de los factores que contribuyen a la sostenibilidad de los ambientes urbanos. Cada vez más, el espacio verde urbano se considera como una parte integral de las ciudades que provee de un amplio rango de servicios a las personas que viven en ellas, como

oportunidades recreativas, con claras funciones sociales, reducción del estrés y mejora de la salud, así como la creación de redes alternativas de transporte, como rutas de ciclismo, etc.

Por otra parte, las redes ecológicas urbanas y rurales son especialmente importantes ya que en muchas ocasiones constituyen la única oportunidad de contar con corredores ecológicos, aumentar la conectividad y permitir de esta forma el movimiento de las especies. En relación con los impactos del cambio climático, que intensificarán o modificarán las condiciones ambientales específicas de las ciudades, la creación y mejora de zonas verdes juega un papel esencial en sus estrategias de adaptación.

El modelo tradicional de "ciudad compacta", con un uso eficiente del suelo y alta densidad de población, ejerce menos efectos negativos sobre la biodiversidad fuera de la ciudad en comparación con la "cuidad dispersa", pero las presiones sobre biodiversidad dentro de la ciudad pueden ser mayores. Por esta razón, debe tenderse a un balance entre zonas construidas y zonas verdes, estimulando la presencia, calidad y utilidad de los espacios verdes abiertos y promoviendo otras infraestructuras como árboles en las calles, paredes y techos verdes etc.

Tal y como se ha comentado anteriormente, la infraestructura verde urbana, dependiendo de su calidad en términos de naturalidad y biodiversidad, variabilidad, tamaño, forma y distribución, puede proporcionar una importante variedad de servicios ecosistémicos para la calidad de vida en las ciudades. En relación con la calidad del aire, puede mejorarla considerablemente, así como las condiciones de ruido. Las plantaciones densas de arbustos y árboles pueden absorber grandes cantidades de polvo y contaminantes mientras que también actúan, hasta cierto punto, como filtros para el ruido (Chih-Fang Fang, 2003).

LOS BOSQUES URBANOS COMO SUMIDEROS DE OZONO TROPOSFÉRICO

Existen múltiples estudios que han demostrado que el número y la distribución de los árboles dentro de la ciudad influyen sobre la cantidad de ozono que pueden absorber del aire. Sin embargo, hasta hace poco no se sabía el efecto de la diversidad de las especies de árboles que forman los bosques urbanos sobre la dimensión y la estabilidad de este servicio ecosistémico.

En un estudio reciente se han cuantificado los efectos de la diversidad de los árboles urbanos sobre la absorción de ozono en la ciudad de Roma, Italia. Los resultados ponen de manifiesto que los tres grupos de árboles analizados (perennes de hoja ancha, deciduos de hoja ancha y coníferas) presentan diferentes tasas de absorción y que dichas tasas varían a lo largo del año. En primavera de 2003 y 2004, los árboles deciduos de hoja ancha absorbieron la mayor cantidad de ozono, y las coníferas la menor cantidad. En el caluroso verano de 2003, los árboles deciduos de hoja ancha tuvieron una absorción reducida, mientras que los perennes de hoja ancha mantuvieron una absorción elevada y las coníferas incluso aumentaron su absorción bajo las condiciones de sequedad que se dieron aquel verano. Durante los otoños de 2003 y 2004, fueron los árboles deciduos de hoja ancha los que más oxígeno absorbieron. Por tanto, los tres grupos de árboles juegan papeles complementarios que estabilizan los niveles de absorción en el tiempo y a lo largo de diferentes condiciones ambientales. Estos resultados podrían tener importantes implicaciones para desarrollar estrategias de gestión en el futuro, como una plantación dirigida en localizaciones específicas.

Fuente: MANES, F.: INCERTI, G.; SALVATORI, E.; *et al.* (2012) *Urban ecosystem services: tree diversity and stability of tropospheric ozone removal. Ecological Applications*. 22 (1): 349-360..

A través de un replanteamiento del diseño urbano, la arquitectura, el transporte y la planificación podemos transformar nuestras ciudades y paisajes urbanos en "ecosistemas urbanos" que se sitúen en la vanguardia de la mitigación del cambio climático (e.g. transporte sostenible, energías limpias y bajo consumo) y de la adaptación (e.g. casas flotantes, jardines verticales). Es más, un mejor planeamiento mejorará la calidad de vida a través del diseño de un espacio urbano seguro, limpio y verde. Todo ello también generará nuevas oportunidades de empleo mediante la promoción de un mercado de nuevas tecnologías y arquitectura verde.

Estudio de caso: Modelización de la influencia de la vegetación del monte de El Pardo en la calidad del aire de Madrid

En la atmósfera, la evolución de los distintos contaminantes responde a un conjunto de procesos físicos y químicos que determinan su concentración en aire. Estos procesos incluyen las emisiones, el transporte advectivo por el viento, los fenómenos de mezcla turbulenta, la química atmosférica y el depósito.

En términos de calidad del aire, los ecosistemas terrestres intervienen en dos de estos procesos: por un lado, emiten óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV) a la atmósfera (**emisiones biogénicas**) y por otro contribuyen a la captura de contaminantes (**depósito seco**, sin participación de la lluvia). Esta intervención de los ecosistemas en estos dos procesos puede producir efectos en direcciones contrarias. Por un lado, y centrándonos en su papel como fuente emisora de contaminantes, el hecho de que se emitan tanto NO_x como COVs puede conducir a diferentes efectos sobre el ozono (O_3), aumentándolo o disminuyéndolo según la relación NO_x/COVs del aire. Por otra parte, su participación en los procesos de depósito, supone una eliminación de contaminante del medio, ya sea O_3 o sus precursores. El resultado neto es difícil de predecir, dada la compleja química que afecta a la formación de ozono.

Los modelos de calidad del aire constituyen una herramienta de gran utilidad dentro del ámbito de la gestión de la calidad del aire. Se trata de modelos matemáticos que resuelven el balance de masas en el aire de una determinada especie química, considerando los diferentes procesos físicos y químicos que intervienen en dicho balance. De este modo, los modelos permiten entender la importancia de cada proceso en el resultado final, entender relaciones fuente-receptor o evaluar condiciones ficticias, estimando qué pasaría en otras condiciones diferentes a las reales.

La capacidad de la vegetación tanto de emitir compuestos a la atmósfera como de capturar contaminantes depende de forma determinante de la morfología y eco-fisiología de cada formación vegetal. En los modelos, el concepto de captura de contaminante por parte de la vegetación se estima considerando tres tipos de procesos, orientados todos ellos a la aproximación del contaminante a la superficie de captura: procesos turbulentos, que dependen en gran medida de la estabilidad atmosférica, procesos de difusión, y la propia captura del contaminante por la superficie. Esta última, cuando la superficie es una especie vegetal, puede producirse a través de los estomas, por procesos de absorción al interior del tejido vegetal, o bien por adsorción a la superficie vegetal. Diferentes aspectos, como la actividad fisiológica, la fenología o la superficie foliar de una determinada especie vegetal, además de otros factores, condicionan la capacidad de captura de cada especie vegetal a través de los estomas.

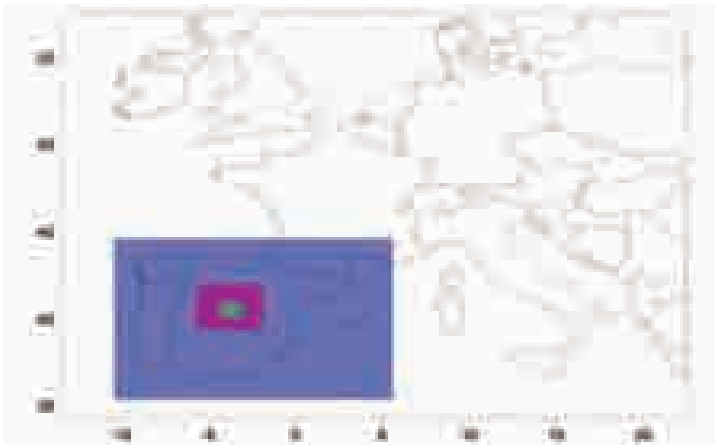
El modelo CHIMERE es un modelo fotoquímico muy utilizado por un gran número de grupos en Europa, y que ha sido aplicado en España en diversos estudios (Vivanco *et al.* 2008, 2009), habiéndose evaluado sus estimaciones mediante comparación con observaciones en puntos donde se encuentran ubicadas estaciones de calidad del aire en España, gestionadas por diversos organismos (Comunidades Autónomas, EMEP).

Dentro de los objetivos del proyecto Europeo HEREPLUS (Health Risk from Environmental Pollution Levels in Urban Systems, 212854 FP7-ENV), en el que participó el CIEMAT entre 2007-2011 se analizó el efecto que sobre la calidad del aire de la Comunidad de Madrid (en concreto sobre los niveles de O_3) ejerce la vegetación ubicada en el Monte de El Pardo, utilizando para ello el modelo fotoquímico CHIMERE. El estudio, en líneas generales, consistió en la simulación de un dominio que englobaba el Monte de El Pardo, tanto en condiciones reales como ficticias, suponiendo que El Pardo era sustituido por suelo desnudo sin vegetación. Del análisis de las diferencias en concentración de ozono troposférico entre el caso real y el ficticio se obtuvo el papel que juegan los bosques perennifolios de El Pardo.

El modelo, en su versión V200603par-rc1, utilizada para dicho estudio, calcula la concentración de 44 especies gaseosas y aerosoles tanto orgánicos como inorgánicos. El esquema de simulación consistió en cuatro dominios anidados (Figura 3.8.4), donde las salidas de cada dominio servían de condiciones de contorno para las simulaciones de los dominios inmediatamente menores. Para el dominio mayor, englobando gran parte de Europa occidental, las condiciones de contorno se obtuvieron de salidas climatológicas obtenidas con los modelos globales LMDz-INCA model (Hauglustaine *et al.*, 2004), para las especies gaseosas. El dominio de interés de Madrid presentaba una resolución de aproximadamente 1km. Las emisiones para todas las simulaciones fueron obtenidas de los totales anuales de la base de datos EMEP para 2003 (Vestreng *et al.*, 2005), que se encuentran asociados a las distintas categorías SNAP (Selected Nomenclature for sources of Air Pollution) y distribuidos espacialmente en un mallado de 50 x 50 km^2. Estos datos fueron desagregados horizontalmente según la resolución de cada dominio de trabajo, utilizando para ello información de usos de suelo del inventario disponible en el Global Land Cover Facility (GLCF) (http://change.gsfc.nasa.gov/create.html). Además, para cada categoría SNAP, el total de emisiones de COVs no-metánicos se repartió en 227 especies individuales (Passant, 2002), agregando posteriormente estas especies según los requisitos del modelo CHIMERE.

Los campos meteorológicos se obtuvieron con el modelo MM5 (Grell *et al.*, 1995).

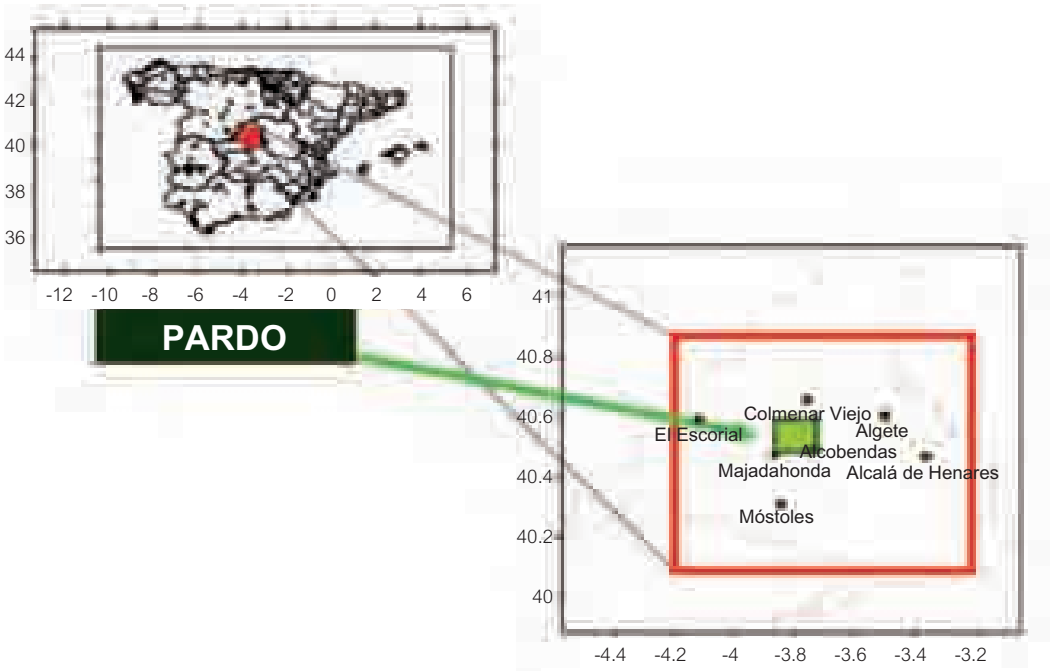
FIGURA 3.8.4. Dominios simulados con el modelo CHIMERE.



Fuente: CIEMAT, 2012.

El área de estudio, coincidente con el dominio menor, se dividió en 75x74 celdas, a una resolución de aproximadamente 1 km^2. La situación del Monte de El Pardo dentro de este dominio se ilustra en la Figura 3.8.5.

FIGURA 3.8.5. Cuarto dominio de simulación (enmarcado en rojo) y posición del Monte de El Pardo (en verde).



Fuente: CIEMAT, 2012.

Antes de comenzar con las simulaciones, se realizaron ciertas modificaciones en el modelo, principalmente enfocadas a una mejor representación de las características del dominio de simulación. Estas modificaciones consistieron en:

1) Incorporación al modelo de los datos oficiales sobre usos de suelo y cobertura vegetal de la Comunidad de Madrid, publicada en 1997 y actualizados en 2005 por el Gobierno Regional.
2) Cambios en algunos parámetros relacionados con el cálculo del depósito seco, relacionados con las características morfológicas, fisiológicas y de fenología de la vegetación de la Comunidad de Madrid.
3) Cambios en algunos parámetros relacionados con el cálculo de emisiones biogénicas, mejorados en función de datos publicados recientemente para la vegetación mediterránea en Keenan *et al*. (2009).
4) Introducción del concepto de stress hídrico, alterando los perfiles temporales de fenología.

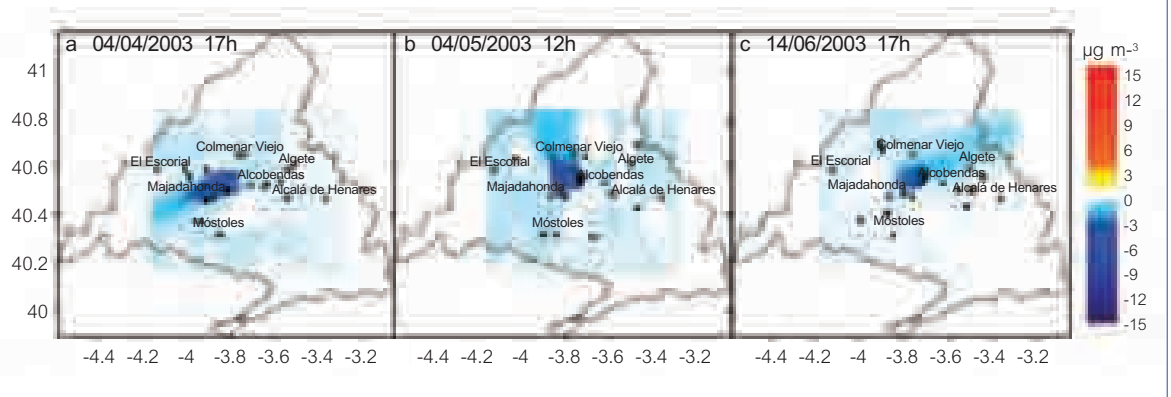
Una vez realizados los cambios pertinentes, se realizaron dos conjuntos de simulaciones:

– **"Caso Base"**, con las características de uso de suelo reales.
– **"Caso Ficticio",** con características modificadas de uso de suelo, sustituyendo los usos de suelo que caracterizan el bosque de El Pardo (bosques perennifolios de hoja ancha), por **suelo desnudo**, esto es, **suponiendo una situación ficticia** en que no hubiese ningún tipo de vegetación.

Las simulaciones se realizaron para el **periodo entre el 1 de abril y el 1 de septiembre de 2003**. Una vez finalizadas las simulaciones se comparó la concentración de O_3 obtenida en ambos casos, base y ficticio, para ver el efecto sobre el O_3 de la presencia del Monte de El Pardo. Según las estimaciones del modelo, el efecto neto de sustituir la vegetación de El Pardo por suelo desnudo supone un aumento de O_3 en concentración en aire sobre El Pardo y sobre regiones situadas en la dirección del viento (al no depositarse el contaminante en el bosque se mantiene en el aire, y es por tanto transportado por el viento).

Los mapas de la Figura 3.8.6 muestran cómo puede producirse este transporte en el aire en tres momentos horarios de tres días distintos (17 horas del día 4/4/2003, 12 horas del día 4/5/2003 y 17 horas de día 14/6/3003). Las figuras están calculadas restando a la concentración obtenida en el caso base la concentración obtenida en el caso ficticio (CASO BASE – CASO FICTICIO). Los mayores aumentos de concentración de O_3 (diferencias negativas, mayor concentración en caso ficticio, sin El Pardo) se encontraron sobre áreas situadas en el eje NE-SW, y en especial durante la primavera, dada la mayor magnitud del depósito que se produce como resultado de una mayor actividad fisiológica en esta época del año. El máximo aumento de concentración horaria, en una celda del dominio de simulación ubicada en el propio Pardo, fue de 14,5 µg m^{-3}, a las 20:00 horas del día 29 de Mayo, representado un aumento del 17% sobre el caso real con vegetación. En esa misma celda, el incremento medio de O_3 en aire durante la primavera y el verano producido por la sustitución de El Pardo por suelo desnudo fue de un 3,5% y 2,7% respectivamente. En celdas situadas en los alrededores de El Pardo, este aumento fue menos pronunciado, con diferencias horarias dentro del rango 7,3-8,9 µg m^{-3} en localidades urbanas y 2,9-3,0 µg m^{-3} en puntos suburbanos y rurales.

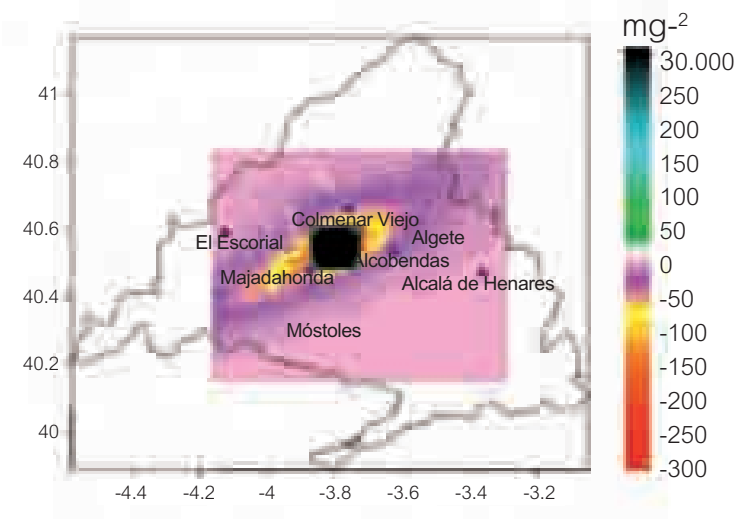
FIGURA 3.8.6. Diferencias de concentración de O_3 en aire (µg m^{-3}) entre los casos real y ficticio (sin El Pardo).



Fuente: CIEMAT, 2012.

En cuanto a su efecto en el depósito, la **Figura 3.8.7** muestra las diferencias encontradas (CASO BASE – CASO FICITICIO) en el depósito acumulado para los 6 meses de abril a septiembre de 2003, meses con mayor radiación solar y por tanto mayor formación de O_3.

FIGURA 3.8.7. Diferencias en el depósito de O_3 para el periodo abril-septiembre entre los casos base y ficticio sin el Monte de El Pardo.



Fuente: CIEMAT, 2012.

Se observa cómo en el área de El Pardo el depósito de O_3 producido cuando las especies vegetales están presentes es muy superior al encontrado cuando se han sustituido por suelo desnudo. Por el contrario, en zonas adyacentes el resultado es contrario, viéndose un aumento del depósito en zonas de alrededor (diferencias negativas indican mayor depósito en caso ficticio). Esto se debe a que, una vez sustituida la vegetación de El Pardo por suelo desnudo, el ozono no se deposita de igual forma, al no haber especies vegetales y se mantiene en el aire, siendo transportado y depositado en otros lugares de los alrededores, algunos de ellos zonas urbanas.

Hay que señalar, sin embargo, que los resultados de este estudio se encuentran limitados por las parametrizaciones del propio modelo y por la capacidad del modelo de reproducir con rigor los valores observados en todos los puntos de dominio. En este sentido, las mayores desviaciones entre las estimaciones del modelo y las medidas en lo referente al ozono, se observan en la estación de Majadahonda, donde el modelo predice valores máximos menores que los observados. Hay que recordar, además, que las emisiones fueron desagregadas horizontales a la resolución de estudio desde una resolución de 50 x 50 km^2.

En definitiva, de acuerdo a las estimaciones del modelo CHIMERE y con todas estas limitaciones, el monte de El Pardo estaría contribuyendo a una mejora de la calidad del aire en las zonas urbanas y rurales de sus alrededores, vía el aumento del depósito de O_3 en el área de El Pardo y por consiguiente, contribuiría a la disminución de O_3 en el aire sobre lugares próximos a él. En este sentido, la presencia del Pardo favorecería una disminución de los posibles riesgos que este contaminante atmosférico pudiera causar sobre la salud humana, en especial en épocas del año donde la efectividad del depósito es mayor, como es la primavera. Los resultados de este estudio han sido publicados en Alonso *et al*. (2011).

3.8.3. Infraestructura azul

Como se ha comentado en el apartado anterior, los impactos que ocasiona el cambio climático sobre ciudades y zonas urbanas, en la actualidad basadas fundamentalmente en la infraestructura

gris, hace que se conviertan en lugares vulnerables y con poca o ninguna capacidad de adaptación. Sin embargo, cabe esperar que a medio o largo plazo se vea como aumentan las temperaturas, los episodios de lluvia sean cada vez de mayor intensidad y aumente el nivel del mar.

A este hecho se le suma la existencia de diversos impactos provocados por el cambio climático que generan riesgos para la salud, como las grandes olas de calor, la contaminación del aire, los incendios forestales y los fallos en el suministro de agua, comida y electricidad, todos ellos con implicaciones relacionados con la respuesta que la salud pública pueda darnos.

Un buen ejemplo de ello, es el incremento de las temperaturas en los entornos urbanos debido al cambio climático, que incide en la calidad del aire generando un mayor estrés entre la población urbanita y sinergias entre los contaminantes. Un incremento de la temperatura implica una mayor contaminación atmosférica debido a que se incrementa la formación de Ozono (O_3) y la presencia de Partículas (PM) en el aire, ya que este incremento de la temperatura normalmente coincide con los periodos secos que impiden su dispersión.

La contaminación del aire presenta fuertes interacciones con el cambio climático, hecho que se pone de manifiesto en los graves efectos sobre la mortalidad detectados a consecuencia de las olas de calor, en días con altas concentraciones de ozono.

Las infraestructuras azules, como masas de agua, ríos, arroyos, llanuras de inundación y sistemas de drenaje, al igual que las verdes, juegan un papel vital en la adecuación de las ciudades al cambio climático, de manera que sean lugares más resilientes –un papel que en la actualidad no está suficientemente reconocido y carece de integración en la planificación general–.

Este tipo de infraestructuras generalmente son elementos intrínsecos a los proyectos de infraestructuras verdes. Sin embargo, están adquiriendo mayor importancia en proyectos relacionados con el abastecimiento de agua, ya que la eficiencia y gestión del agua, también es crucial a la hora de combatir el cambio climático y las desigualdades sociales.

Uno de los factores morfológicos que ayuda a reducir las llamadas “Islas de Calor Urbano” son las áreas acuáticas o de vegetación, es decir las infraestructuras verdes o azules. Este tipo de infraestructuras, pueden ayudar regular las temperaturas en las ciudades, ya que las infraestructuras grises acumulan mucho calor durante el día y tanto las infraestructuras verdes como azules liberan calor durante las noches.

Las infraestructuras azules pueden proporcionar diversos servicios ecosistémicos. Pueden desempeñar un importante papel a la hora de gestionar las inundaciones. También pueden provocar un efecto de enfriamiento en las ciudades, de manera que incluso favorecen una mayor eficiencia energética debido a una menor necesidad de refrigeración. Otro tipo de servicios medioambientales que estas infraestructuras ofrecen es la conservación de la biodiversidad en las ciudades e incluso un efecto psicológico positivo en los ciudadanos, gracias al uso recreativo que se puede hacer de las mismas. En general, ayudan a mejorar la calidad de vida proporcionando ciudades más saludables. (New eco-cities, new open sapaces: the future of green and blue infrastructures. Lemes, Fabiano – 2011).

Las infraestructuras azules, a la hora de mitigar el cambio climático, es que pueden actuar como excelentes vehículos para el secuestro de carbono como es el caso de los humedales. Las zonas húmedas almacenan grandes cantidades de carbono y por el contrario, cuando son destruidos o se degradan, liberan grandes cantidades de CO_2 y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera. Por tanto, conservar infraestructuras azules, como los humedales, es una forma viable de mantener los depósitos de carbono existentes y evitar emisiones de CO_2 y otros gases.

Integrando este tipo de infraestructuras en la planificación regional del territorio y el diseño urbano se pueden ofrecer soluciones que hagan de nuestras comunidades, lugares menos vulnerables a estos riesgos. El objetivo principal a largo plazo, es que las comunidades reduzcan su vulnerabilidad a los daños ambientales, sociales, físicos y económicos relacionados con los impactos del cambio climático.

A continuación se muestran iniciativas que se han desarrollado en distintas ciudades o entornos urbanos como medidas de adaptación al cambio climático haciendo uso tanto de las infraestructuras verdes como de las azules.

CASO DE ESTUDIO 1

STUTTGART: INFRAESTRUCTURA VERDE Y CALIDAD DEL AIRE

Stuttgart: Este estudio de caso pretende mostrar cómo se puede combatir la isla de calor y la mala calidad del aire con la creación de corredores verdes en la ciudad de Stuttgarts situada en un valle, con clima templado, vientos flojos, y rodeada de actividad industrial que ha provocado una mala calidad del aire pobre desde los años 1970. El desarrollo planteado en las laderas del valle ha empeorado la situación, ya que impide la circulación del aire en la ciudad, contribuyendo así a al efecto isla de calor urbano. En este estudio de caso se plantea analizar a través de un modelo el papel del viento natural y la vegetación densa en reducir los problemas de recalentarse y la contaminación atmosférica. Finalmente se recomienda que todo tipo de planificación se ajuste a un marco legislativo de Regulación de Construcción, de carácter estatal, regional y local orientada y ajustada a las zonas a desarrollar.

CASO DE ESTUDIO 2

MALMÖ: INFRAESTRUCTURA AZUL Y ADAPTACIÓN URBANA AL CAMBIO CLIMÁTICO

En la ciudad sueca de Malmö podemos encontrar un ejemplo de cómo un sistema urbano de drenaje ha funcionado en uno de sus barrios (Augustenborg) como motor de regeneración urbana y social.

Augustenborg, ha sido un barrio en declive socioeconómico durante las últimas décadas, y al mismo tiempo, sufría con frecuencia inundaciones provocadas por el desbordamiento de los sistemas de drenaje.

Entre los años 1998 y 2002, el barrio sufrió una muy importante regeneración, con el objetivo de combatir la difícil situación económica y social del barrio, el riesgo de inundaciones, y de mejorar la gestión de residuos y la conservación de la biodiversidad. Se llevaron a cabo importantes cambios físicos en las infraestructuras, desarrollando infraestructuras verdes y azules. Se crearon sistemas urbanos de drenaje sostenible, que incluían zanjas y estanques de retención, techos verdes y espacios verdes.

En el proyecto colaboraron tanto el Ayuntamiento, como una empresa de vivienda de interés social, además de contar con una importante participación de los residentes. El proyecto se ha considerado todo un éxito, ya que las tasas de escorrentía de agua de lluvia han disminuido a la mitad y el aumento de los espacios verdes ha mejorado la imagen del territorio y la calidad ambiental del barrio. (*Urban adaptation to climate change in Europe*, EEA Report, 2012).

CASO DE ESTUDIO 3

NUEVA ORLEANS: LA PRESERVACIÓN DE LOS HUMEDALES PARA AUMENTAR LA RESILIENCIA AL CAMBIO CLIMÁTICO

Tras el desastroso fracaso que las defensas estructurales, como diques y compuertas, supusieron a la hora de combatir el huracán Katrina en el 2005, el estado de Louisiana y la ciudad de Nueva Orleans decidieron tomar medidas para que la ciudad fuera menos vulnerable a la subida del nivel del mar, los huracanes y las inundaciones del río, ya que es altamente probable que la intensidad y frecuencia de estos impactos ambientales se vea incrementada a consecuencia del cambio climático.

Una de las medidas clave que se tomaron fue la de proteger, conservar y restaurar los humedales, para que puedan ejercer como zonas de amortiguación entre el mar y la ciudad, es decir, para que ejerzan uno de los servicios ecosistémicos básicos que proporcionan los humedales en buen estado. Se definieron acciones específicas dentro del Masterplan (Plan General) de Nueva Orleans para garantizar que los humedales se conservan, al ser considerados como infraestructura azul y verde, que incrementan la resiliencia de la ciudad al cambio climático.

De esta manera se dio un cambio significativo a la política que la región venía desarrollando a la hora de luchar contra las inundaciones, pasando de un uso indiscriminado de infraestructuras grises a la incorporación de soluciones más naturales.

4. Impacto de la contaminación atmosférica en la salud

En este capítulo se comienza exponiendo el impacto que en términos de salud tiene la exposición a corto y largo plazo de la contaminación atmosférica, se identifican los grupos de población que son especialmente vulnerables a la mala calidad del aire, para acabar centrándose en la población infantil. A continuación se expone algunas actuaciones que de cara a proteger a este colectivo se han desarrollado en Reino Unido, concretamente en Londres, en donde se aprobó recientemente una normativa que prohíbe la ubicación de los centros escolares a una distancia inferior a 150m a viales con intensidad de trafico superior a 10.000 vehículos diarios. Tomando como ejemplo esta experiencia, en este informe se ha calculado la distancia que los colegios y escuelas infantiles están de viales con esta intensidad de tráfico en el municipio de Madrid. Los resultados hablan por sí solos, y dejan la puerta abierta a una línea de investigación que aún está por empezar a pesar de su relevancia, además y como punto y seguido se invita a hacer un mayor uso de las EIS como estrategia para incorporar a la salud en todas las políticas publicas. Se concluye el capítulo con dos apartados que inciden en la calidad del aire y por tanto en la salud publica como son el cambio climático y las intrusiones de polvo sahariano.

4.1. Medio ambiente, calidad del aire y salud

La OMS estimó que el 23% de la carga de mortalidad (muertes prematuras) mundial y un 24% de la morbilidad (años de vida sana perdidos) es atribuible a factores ambientales como la contaminación del agua o del aire. La población infantil es la más afectada por enfermedades provocadas por factores ambientales, cobrándose cada año la vida de cuatro millones de niños principalmente en países en desarrollo. En los niños de 0 a 14 años, el porcentaje de muertes que podían atribuirse a factores ambientales asciende al 36% y un 33% a su carga de morbilidad.

A pesar de la magnitud de las cifras, la OMS advierte de que se trata de estimaciones moderadas, ya que una importante carga de morbilidad y mortalidad no se contabiliza por la dificultad que supone establecer una vía causal entre riesgo ambiental y enfermedad o muerte.

En los países en desarrollo las enfermedades con mayor carga atribuible a factores ambientales son la diarrea, las infecciones de las vías respiratorias inferiores, otras lesiones accidentales y el paludismo. En los países desarrollados, se atribuyen a factores ambientales el cáncer y las enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

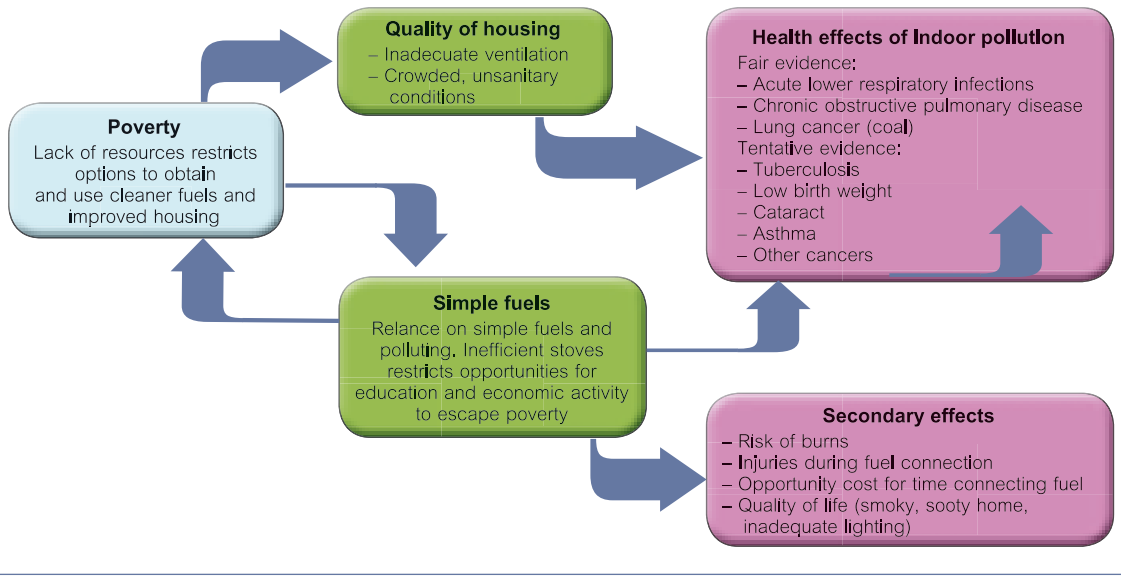
Del total de la mortalidad y morbilidad mundial una carga importante es atribuible a la calidad del aire, y representa la mayor amenaza de carácter ambiental para niños y el principal factor de riesgo para el desarrollo de una enfermedad respiratoria ya sea de carácter leve o crónico. Un trabajo reciente llevado a cabo con el objeto de proporcionar información para el desarrollo del Plan de Acción

sobre medio ambiente y salud infantil en la Región Europa (Valent *et al.*, 2004) informa que en Europa, entre el 1,8% y el 6,4% de las muertes en niños de 0 a 4 años son debidas a contaminación atmosférica en ambiente exterior y un 3,6% a la contaminación atmosférica interior. Aunque el impacto es mayor en los países de Europa Oriental, los autores destacan que un efecto de los riesgos ambientales en la salud de los niños es detectable en todos los países de Europa. Al mismo tiempo se destaca la falta de información adecuada sobre niveles y condiciones de exposición. La distinción entre calidad del aire interior y exterior responde al tipo de contaminante, fuentes de emisión y población afectada.

4.1.1. Calidad del aire interior

La calidad del aire interior se puede ver afectada por el tipo de energía utilizada en los hogares para satisfacer las necesidades más básicas como son cocinar, calentar agua, alumbrado y calefacción, todos ellos afectan a nuestro estado de salud.

FIGURA 4.1.1. Pobreza energética y su impacto en salud en países en desarrollo.



Fuente: OMS

En los países en vías de desarrollo la contaminación atmosférica del aire de interior que resulta de cocinar con combustibles fósiles sólidos –la leña, el estiércol, el carbón y otros combustibles tradicionales– es la responsable de 1,6 millones de defunciones anuales y representa el 2,7% de la carga mundial de morbilidad.

La quema ineficiente de combustibles fósiles en el interior de un hogar crea un coctel peligroso de cientos de contaminantes, principalmente de monóxido de carbono y partículas, pero también de óxidos de nitrógeno, benceno, butadieno, formaldehído, hidrocarburos poli-aromáticos y otros productos tóxicos para la salud. Cuando se usa carbón también pueden estar presentes contaminantes adicionales como el azufre, el arsénico y el flúor.

Centrándonos únicamente en las Partículas, los niveles de PM_{10} en 24h en viviendas donde se usa la biomasa en África, Asia o América Latina pueden oscilar entre los 300 µg/m³ y 3000 µg/m³, llegando a poder alcanzarse los 10.000 µg/m³. La comparación de estos niveles con los limites medios anuales fijados por normativas vigentes en UE y EEUU, 40 µg/m³ y 50 µg/m³ respectivamente, da una idea de los enormes niveles de contaminación interior al que están sometidos algunos hogares en los países en desarrollo.

La OMS a raíz de un examen minucioso de los estudios epidemiológicos desarrollados desde los años 80s ha concluido que la inhalación de humo en el interior de las viviendas duplica el riesgo de neumonía y otras infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores en niños menores de 5 años, que es tres veces más probable que las mujeres expuestas al humo de interior sufran enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) en comparación con las mujeres que cocinan con electricidad, gas u otros combustibles más limpios y que el uso del carbón duplica el riesgo de cáncer de pulmón. También se ha asociado la exposición al humo en el interior de las viviendas con asma, cataratas, tuberculosis, resultados adversos en el embarazo –como bajo peso al nacer– cardiopatía isquémica, enfermedad pulmonar intersticial y cáncer nasofareingeo y laríngeo (OMS, 2007).

A pesar de que se hizo una llamada de alarma en el año 2002 por distintas instituciones internacionales, desde entonces se ha avanzado poco y la contaminación del aire de interior sigue asolando a las comunidades rurales y los residentes urbanos pobres.

En los países desarrollados, en concreto en España, la mala calidad del aire interior es un problema poco controlado (especialmente en los hogares) aunque cada vez van adquiriendo mayor interés por sus implicaciones. El Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) es el encargado de regular la calidad del aire interior con el objeto de dar respuesta a la demanda de bienestar e higiene de los ciudadanos.

Los problemas derivados de la mala calidad del aire interior forman parte del concepto global denominado "síndrome de edificio enfermo"[1], que además de la calidad del aire contempla los niveles de carga electromagnética. Un estudio desarrollado en la Comunidad de Madrid (CAM)[2] en 2012 refleja que seis de cada diez madrileños son conscientes de que la mala calida del aire interior puede influir en su salud y uno de cada cinco dice haber padecido alguna molestia relacionada con su estancia en espacios cerrados.

4.1.2. Calidad del aire exterior

La calidad del aire exterior es mayoritariamente consecuencia de la combustión de combustibles fósiles del transporte, aunque también contribuyen la industria y otras actividades humanas. Y es a este tipo de calidad del aire a la que hace referencia este informe.

El proceso de combustión genera una mezcla compleja de contaminantes que incluye emisiones primarias –partículas y plomo– y emisiones secundarias –que sufren una serie de transformaciones posteriores en el ambiente, y que pueden dar lugar a un contaminante de la calidad del aire como es el caso del O_3 y el SO_X–.

La calidad del aire exterior o la contaminación atmosférica exterior es un problema que afecta especialmente a las ciudades de todo el mundo, y muy particularmente a las megaciudades de los países en desarrollo, en donde se estima que una cuarta parte de la población esta sometida a contaminación atmosférica.

A pesar de los avances en el control de la calidad del aire, el impacto de la exposición a la contaminación atmosférica en Europa sigue siendo importante. La OMS estima que las elevadas concentraciones de partículas en suspensión en Europa son las responsables de 300.000 defunciones prematuras anuales, y llegan a disminuir la Esperanza de vida de cada europeo, un promedio de un año. El Ozono esta asociado a 21.000 defunciones prematuras al año (OMS, *Air quality and Health*).

[1] La OMS ha definido " el síndrome de edificio enfermo" como un conjunto de enfermedades originadas o estimuladas por la contaminación del aire en espacios cerrados.

[2] Calidad del ambiente en espacios interiores. CAM (2012) disponible on line http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-disposition&blobheadername2=cadena&blobheadervalue1=filename%3DAMBIENTE+EINTERIORES+9032012+definitivo.pdf&blobheadervalue2=language%3Des%26site%3DPortalSalud&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1310966827375&ssbinary=true [7 sep 2012].

4.2. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA SALUD

En *Contaminación atmosférica y Salud* (ECODES, 2009) se distingue entre el impacto que tiene la exposición a la contaminación atmosférica a corto y largo plazo, a continuación exponemos algunos de sus resultados[3]

La mala calidad del aire exterior tiene un impacto en la salud que puede ir desde leves molestias a problemas cardiacos, alteraciones del funcionalismo pulmonar, visitas a urgencias por causas respiratorias, ingresos hospitalarios y finalmente causar la muerte.

FIGURA 4.2.1. Efectos de la contaminación atmosférica en la salud.

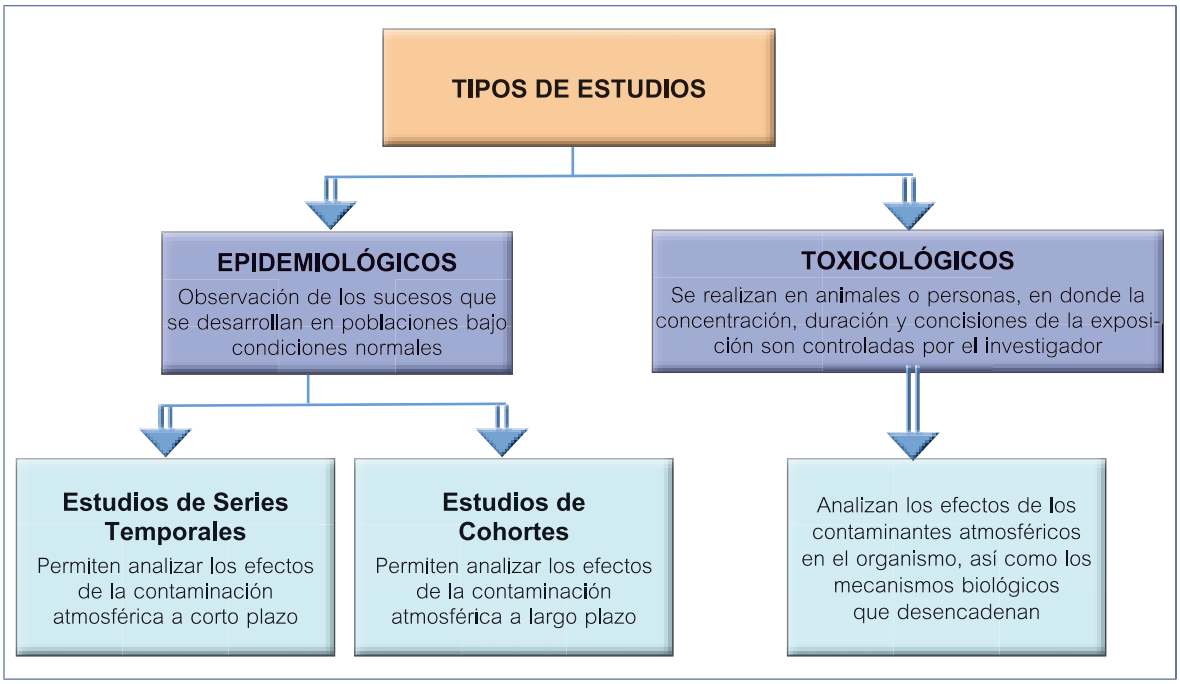
Fuente: TENÍAS y BALLESTER, 2009.

Una mala calidad del aire o la contaminación atmosférica tiene un efecto gradual y discriminatorio. El efecto gradual se ve tanto en términos de impacto en salud –que va de efectos leves a letales– como de población –proporción de población afectada–, y tiene un efecto discriminatorio ya que no afecta ni se distribuye por igual entre todos los colectivos (ver **apartado 4.2**) y a lo largo del territorio.

Los distintos estudios realizados de carácter toxicológico y epidemiológico han mostrado la estrecha relación entre calidad del aire y salud y han permitido descartar los planteamientos mantenidos en los años 70 y 80s que negaban que la contaminación atmosférica fuese un problema de salud pública. En la actualidad tanto la Organización Mundial de la Salud como la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (EPA) reconocen que la inhalación de contaminantes, especialmente partículas representan un riesgo de mortalidad prematura. Este cambio se debió básicamente a distintas investigaciones que muestran el impacto que los incrementos de contaminación atmosférica tienen a corto plazo entre la población. Con el tiempo se ha mostrado que los efectos debidos a la exposición crónica (efectos a largo plazo) pueden ser considerablemente mayores que los efectos debidos a una exposición aguda (a corto plazo) en términos de esperanza de vida y de morbilidad crónica (Ferran Ballester, 2012).

En los últimos 50 años, gracias a estudios epidemiológicos y toxicológicos, se ha producido un enorme avance en cuanto a generación de conocimientos y acumulación de evidencias científicas que muestran la incidencia de la contaminación atmosférica en la salud y los mecanismos de acción o procesos internos por los que se genera una enfermedad o daño en el organismo a causa de la contaminación atmosférica.

[3] Para más detalles ver capítulo 2: *Efectos de la contaminación del aire en la salud y en las poblaciones.* Elaborado Ferran Ballester y Elena Boldo.



4.2.1. Efectos agudos o a corto plazo de la contaminación del aire en la salud

Los estudios de series temporales, miden el efecto que los distintos tiempos de exposición a la contaminación atmosférica tienen en la salud, y para ello hacen uso de indicadores como: ingresos hospitalarios, nº de visitas a urgencias… Este tipo de estudios permite analizar el impacto de la contaminación atmosférica en la salud a corto plazo. Los principales estudios realizados hasta el momento han sido:

- EEUU:
  - *National Morbidity, Mortality and Air Pollution Study* (NMMAPS).
- Europa:
  - Proyecto *Air pollution and health: A European approach* (APHEA)
- España:
  - Estudio EMECAM-EMECAS (estudio multi-céntrico, en el que participan 16 ciudades españolas)

Dichos estudios arrojan los siguientes resultados:

a) Para partículas**,** a un incremento diario de 10 µg/m³ en los niveles de PM_{10} le sigue un incremento en un 0,6% de defunciones diarias según el estudio europeo, y algo menor según el estudio americano, concentrándose dichas defunciones mayoritariamente en causas respiratorias y cardiovasculares. Entre personas mayores de 65 años se produce un incremento de entre un 1% y de un 1,5% de ingresos hospitalarios por causas respiratorias (Samet, J.M. *et al,* 2000) y un 1,5% de los ingresos por razones cardiovasculares en España (Ballester *et al*., 2006).

b) Respecto al Ozono, en los estudios APHEA y NMMPAS se muestra una asociación entre los incrementos de Ozono y el riesgo a morir por todas las causas y en mayor medida para los grupos de causas respiratorias y cardiovasculares (Gryparis *et al*., 2004; Bell *et al*., 2004). Los efectos generados por el ozono se han mostrado independientes del ajuste por otros contaminantes.

c) El NO_2 es importante en términos de salud por su papel como precursor del O_3 y por su contribución a la formación de partículas secundarias (Katsouyanni, 2003).

4.2.2. Efectos crónicos a largo plazo de la contaminación del aire en la salud

La exposición a la contaminación atmosférica no solo afecta a la salud de la población a corto plazo, estudios recientes muestran que su impacto es aún mayor a largo plazo. Los estudios de cohortes consisten en hacer un seguimiento a un grupo de personas a lo largo del tiempo con el objeto de comparar el riesgo a enfermar o morir, asociado al grado de exposición. Estos estudios permiten ver la asociación entre exposición y esperanza de vida y otros riesgos adicionales para la salud.

Los principales estudios de cohortes realizados hasta el momento han sido:

- EEUU
  - El estudio de seis ciudades de la Universidad de Harvard (EEUU)
  - Estudio de Seguimiento de la Sociedad Americana de Cáncer
- Europa
  - Estudio de cohortes holandés
  - Estudio de 7 ciudades francesas
  - Otros estudios
- España
  - Proyecto Infancia y Medio Ambiente (INMA)

Dichos estudios arrojan los siguientes resultados:

- El estudio de cohorte desarrollado en seis ciudades americanas mostró que el riesgo a morir en ciudades contaminadas era un 26% superior al riesgo morir en ciudades menos contaminadas (Dockery *et al*., 1993). Resultados similares se encontraron en las cohortes de Francia, donde un incremento de 10 µg/m³ de Humos Negros se asoció con un aumento del 7% de mortalidad por todas las causas (Filleul *et al.,* 2005).
- Por cada incremento de 10 µg/m³ de $PM_{2,5}$ se produjo un incremento en un 4% en mortalidad por todas las causas, un 6% por causas cardiovasculares y un 8% por cáncer de pulmón. También se ha asociado la exposición crónica con un incremento de morbilidad cardio-respiratoria y con una disminución de la función pulmonar en niños y adultos (Pope *et al*., 1995). Por el contrario una disminución en 10 µg/m³ de contaminación supondría un incremento en la mejora de la esperanza de vida del 18%.
- En Holanda el estudio de cohortes en el que participaron 5000 personas mostró una asociación entre vivir cerca de las vías de tráfico intenso y riesgo de morir por causa cardio-respiratoria (Hoek *et al*., 2002). También se ha asociado vivir en zonas de gran intensidad de trafico con mayor riesgo de enfermedades respiratorias (Bayer-Oblesby *et al*, 2006) o cardiacas (Hoffman *et al*., 2006).
- Investigadores del Estudio Epic (European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition) estimaron que entre un 5% y un 7% de los cánceres de pulmón de no fumadores eran atribuibles a la contaminación atmosférica (Vinies *et al*., 2007).
- Proyecto INMA, ha desarrollado una metodología para evaluar el impacto que tiene la contaminación atmosférica en el desarrollo fetal y cognitivo infantil (ver **apartado 4.3.1**).

De los contaminantes atmosféricos, las partículas es de lo que se dispone hasta el momento de un mayor conocimiento sobre el impacto que tiene la exposición a corto y largo plazo en la salud (**Tabla 4.2.1**).

TABLA 4.2.1. Efectos de la exposición agudas y crónicas a las partículas en suspensión.

EFECTOS EN LA SALUD	EXPOSICIONES AGUDAS Cambio porcentual en el indicador de salud por un incremento del 10 µg/m³ PM_{10}	EXPOSICIONES CRÓNICAS Cambio porcentual en el indicador de salud por un incremento del 5 µg/m³ $PM_{2,5}$
Aumento de la Mortalidad - Todas las causas menos las extremas (accidentes, etc.) - Cardiovascular - Respitatoria - Cáncer de pulmón	Estudios de series temporales 0,2-0,6-10 Entre 0,7 y 1,4 Entre 1,3 y 3,4	Estudios de cohortes 2-3 3-6 4
A Incremento de ingresos hospitalarios – Todas las enfermedades respiratorias – Epoc – Asma Enfermedades cardiovasculares	Entre 0,8 y 2,4 Entre 1,0 y 2,5 Entre 1,1 y 1,9 Entre 0,5 y 1,2	
Enfermedades bronquitis		7
Disminución de la Función Pulmonar (FEV1)	0,15 0,08	1 1,5

Fuente: Extraído del informe publicado por ECODES. *El estado de la cuestión: contaminación atmosférica y salud.*

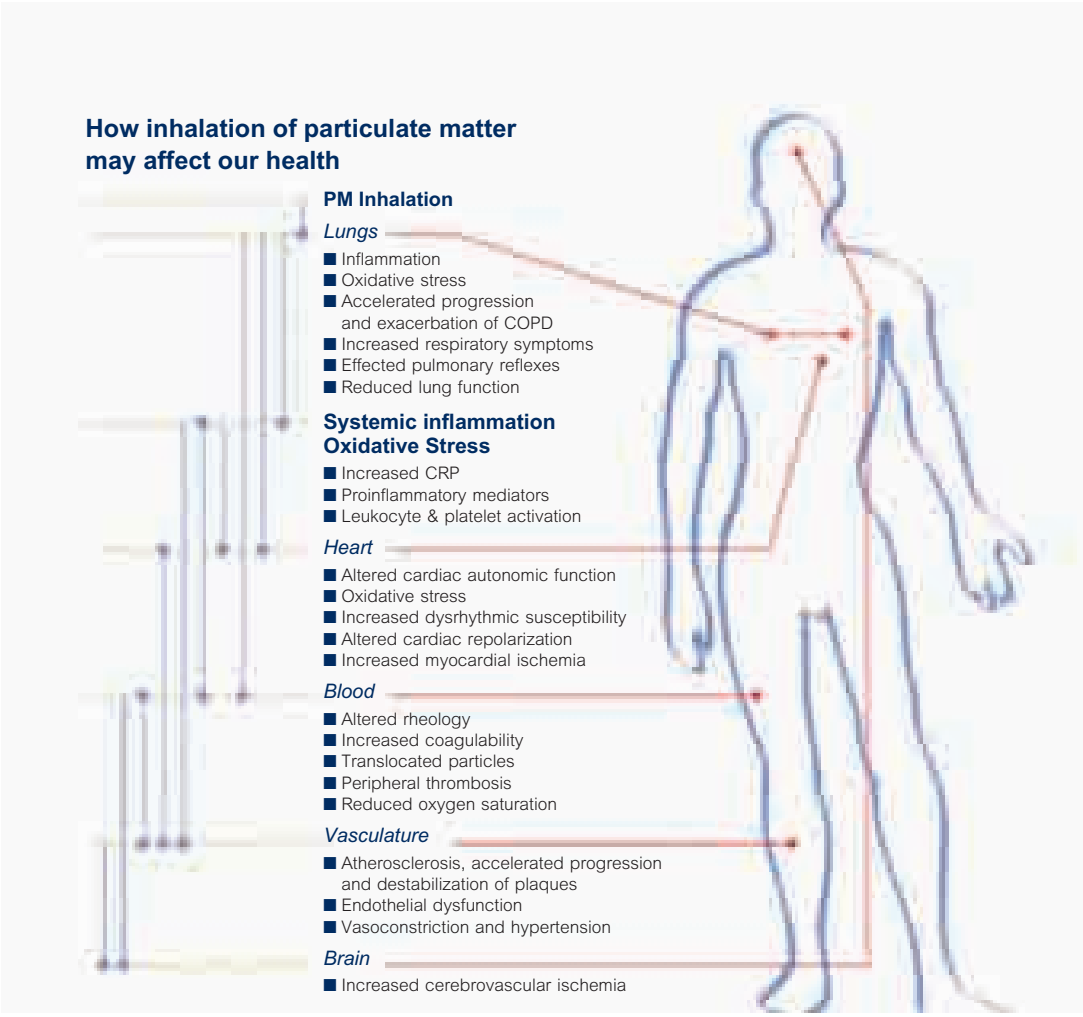
Los estudios toxicológicos vienen a complementar los conocimientos proporcionados por los estudios epidemiológicos. Este tipo de estudios analizan los mecanismos fisiopatológicos (el proceso que causa la enfermedad o daño en el organismo) que se desencadenan a consecuencia de la contaminación atmosférica, solo a través de esta información se puede establecer una relación causal entre contaminación atmosférica y salud.

Un estudio reciente concluye que una exposición crónica al tabaco y la contaminación atmosférica genera pérdida de capacidad pulmonar (Kuenzli, N. y Pérez, L., 2009). Una función pulmonar deficiente es un indicador de Esperanza de Vida (EV), y se relaciona con inflamación sistémica y con enfermedades crónicas inflamatorias.

El impacto de la contaminación atmosférica en las enfermedades cardiovasculares esta más cuestionado, sin embargo, ya se empiezan a formular explicaciones sobre como la contaminación atmosférica genera mecanismos fisiopatológicos que inciden en enfermedades cardiacas. Entre las hipótesis expuestas se encuentran que la inhalación de partículas en el organismo genera un incremento de la coagulación sanguínea, un aumento de la frecuencia cardiaca y una disminución de su variabilidad. También se ha encontrado una asociación de la exposición a partículas con la hipertensión arterial (Ferrán Ballester, 2010).

A pesar de las incógnitas que aún quedan por resolver, ya existen evidencias suficientes que demuestran el impacto que la inhalación de partículas tiene para la salud humana.

FIGURA 4.2.2. Impacto de las partículas en el cuerpo humano.



Fuente: *Proyecto ApheKon,* basado en resultados de POPE and DOCKERY (J. Air & Waste Management Association, 2006)

Sobre la base de los resultados de dichos estudios se han desarrollado políticas y marcos normativos con el objeto de regular la calidad del aire.

Las Guías de Calidad del Aire (GCA) publicadas por la Organización Mundial de la Salud son un referente para todos los países, y pretenden impulsar medidas para la mejora de la calidad del aire, pero carecen de carácter de obligado cumplimiento pero si son un referente para los distintos países. En el Marco de la UE se han establecido distintas directivas que se transponen a los Estados Miembros a través de sus respectivas legislaciones. Cada país establece sus normativas para proteger la salud pública de sus ciudadanos, constituyendo un componente importante de sus políticas nacionales de gestión de riesgos ambientales. Dichas normas responden a un equilibrio entre la necesidad de garantizar una calidad del aire que no suponga riesgos para la salud, la viabilidad tecnológica, aspectos económicos así como de factores políticos, sociales y culturales. En EEUU, La Agencia Americana de Protección Ambiental ha establecido su propio marco regulatorio.

De los tres marcos regulatorios el más restrictivo es el de la Organización Mundial de la Salud, en proceso de revisión constante con el objeto de ir ajustándose a las nuevas evidencias científicas que aparecen, le sigue el americano, siendo el marco europeo el más moderado. Estos tres marcos regulatorios suponen distintas garantías para disfrutar de una buena calidad del aire[4]. A pesar de que en los últimos años se está produciendo una mejora en la calidad del aire en las ciudades españolas, la realidad es que están lejos de cumplir con los objetivos marcados por la OMS, que ya ha anunciado que no existen umbrales por debajo de los cuales no existan riesgos para la salud.

4.3. Grupos de especial vulnerabilidad a la contaminación atmosférica

En los últimos años existe una creciente preocupación por los efectos en la salud humana ocasionados por la contaminación medioambiental. La respuesta ante un factor ambiental nocivo como son los contaminantes del aire, puede variar entre las personas por sus diferentes rasgos genéticos (constitucionales) y de comportamiento social (estilo de vida), pero también en la misma persona con la edad. Los recién nacidos, los niños, los jóvenes, los adultos y los ancianos no presentan las mismas características anatómicas, fisiológicas y conductuales y, por tanto, pueden manifestar diferentes efectos en salud ante niveles de contaminantes similares.

Por otra parte, la excesiva saturación de contaminantes en el medio urbano asociada en muchas ocasiones a especiales condiciones meteorológicas, como las situaciones de inversión térmica, que sobrepasan la capacidad de autolimpieza atmosférica, o determinadas condiciones de la atmósfera, como las advecciones de polvo sahariano afectan directa e indirectamente a todas las personas expuestas a ella.

Existen unos grupos poblacionales de mayor riesgo o vulnerabilidad ante la acción de los contaminantes atmosféricos como los son: los niños –en época fetal, infantil y juvenil-, las mujeres –especialmente las embarazadas y lactantes–, la tercera edad, las minorías étnico-culturales y los enfermos crónicos –principalmente con patologías respiratorias (asma, bronquitis crónica o enfisema), cardiovasculares, neoplásicas, endocrinológicas, neurológicas, gastrointestinales, inmunológicas e infecciosas–. También existen profesiones que convierten a sus trabajadores en especialmente vulnerables por su grado de exposición a la contaminación atmosférica, –personas que desarrollen su actividad profesional al aire libre con alta exposición social y en zonas cercanas a emisiones de contaminantes pueden verse afectadas por el ozono–. En este informe nos centraremos en el colectivo infantil por ser el más vulnerable a los factores ambientales y pocos los trabajos que han abordado el impacto que este colectivo tiene la mala calidad del aire.

En los siguientes apartados del informe se analiza la influencia de la contaminación atmosférica sobre la población infantil, teniendo en cuenta los efectos agudos y a largo plazo sobre su salud y la importancia de la exposición prolongada a fuentes contaminantes, como es el caso de la cercanía de los colegios a vías de comunicación con alta intensidad diaria de tráfico rodado.

[4] En el Anexo I se recogen los valores límites para los distintos contaminantes en cada uno de estos marcos regulatorios.

4.3.1. Contaminación atmosférica y salud infantil

Los estudios epidemiológicos han demostrado la asociación de la exposición prenatal a la contaminación atmosférica con diversos efectos relacionados con el desarrollo fetal, en concreto el bajo peso al nacer y el crecimiento intrauterino retardado (Aguilera *et al*., 2009). Asimismo, existen pruebas suficientes de que la exposición a la contaminación atmosférica durante el primer año de vida, implica un incremento del riesgo de mortalidad infantil de mayor magnitud que el riesgo encontrado para adultos (Srám *et al*., 2005). Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), 5 millones de niños mueren cada año de enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica (*World Health Organitation*, 2003) y en Europa, la contaminación atmosférica es responsable de más de 290.000 episodios de bronquitis en niños (Künzli *et al*., 2000).

Existen además estudios recientes que relacionan la contaminación atmosférica con el desarrollo neurológico y conductual (Guxens y Sunyer, 2012). En España, el proyecto INMA "Infancia y Medio Ambiente" pretende, mediante una metodología común, relacionar las exposiciones pre y postnatales a contaminantes ambientales, con los posibles efectos en la salud de los niños, incluyendo su crecimiento y desarrollo.

INFANCIA Y MEDIO AMBIENTE (INMA)

Este proyecto lo desarrolla una red de investigación, creada en el año 2003, con el objetivo de evaluar las exposiciones pre y postnatales a contaminantes ambientales, en el aire, el agua y los alimentos, y evaluar sus posibles efectos en la salud infantil. El proyecto consiste en un estudio de cohortes de base poblacional, en el que participan unos 4.000 pares de mujeres y sus hijos a los que se sigue durante la gestación y la infancia de los niños. Las mujeres participantes y sus hijos e hijas proceden de diferentes lugares, formando un conjunto de cohortes, lo que permite tener representación de diferentes puntos de la geografía española. Las áreas que participan con cohortes de madres y niños son: Flix (Ribera de L'Ebre), Menorca, Granada, Valencia, Sabadell, Asturias y Gipuzkoa. De todas ellas, las tres primeras ya se habían formado en el momento de iniciar la Red INMA (cohortes previas), mientras que el resto comenzó con posterioridad (cohortes nuevas).

Entre las exposiciones ambientales a estudio, en el proyecto se encuentra la evaluación de la exposición a contaminantes atmosféricos durante el embarazo y la infancia y su posible repercusión sobre la salud (Esplugues *et al*., 2006).

En este sentido uno de los objetivos centrales del proyecto es evaluar si la exposición prenatal a contaminación atmosférica puede ser perjudicial para el desarrollo del feto. Los primeros resultados locales en las cohortes de Sabadell y Valencia indicaron que la exposición a contaminación atmosférica durante el embarazo se asocia con un menor peso al nacer (Aguilera I. *et al*., 2009), así como con un retraso en el crecimiento fetal (Ballester F. *et al.*) y un riesgo mayor de parto pretérmino (Llop S. *et al*., 2010). En estas dos cohortes también se ha analizado el posible efecto de la exposición a contaminación atmosférica sobre el desarrollo fetal a lo largo del embarazo evaluando su impacto sobre los indicadores de parámetros fetales a partir de la información obtenida en las ecografías (Aguilera I. *et al*., 2010 y Iñiguez C. *et al*., 2012).

Estos resultados se han visto confirmados en el análisis de la asociación entre la exposición a la contaminación del aire durante el embarazo y las medidas antropométricas al nacer en cuatro cohortes INMA (Estarlich M. *et al*., 2011). En este estudio la exposición ambiental a dióxido de nitrógeno (NO_2) y benceno se obtuvo mediante mediciones en rejilla de los dos contaminantes en las diferentes áreas de estudio y momentos durante el periodo de gestación de las mujeres participantes. Posteriormente, utilizando técnicas de regresión por usos del suelo (LUR: siglas en inglés de Land Use Regression) se estimaron los niveles de los dos contaminantes en el ambiente exterior del domicilio de cada mujer (n = 2.337) para cada trimestre y para todo el embarazo en las 4 cohortes de novo de INMA. Se estudió la asociación entre la exposición a contaminación atmosférica y medidas antropométricas (peso, talla y perímetro craneal al nacer) mediante modelos de regresión lineal. También se realizaron análisis de sensibilidad para el subgrupo de mujeres que pasó más tiempo en casa durante el embarazo. Por último, se realizó un análisis combinado con técnicas de meta análisis.

En el análisis combinado, un incremento de 10 µg/m^3 en la exposición a NO_2 durante el embarazo se asoció con una disminución en la longitud al nacer de -0,9 mm. Para el subgrupo de mujeres que pasaron ≥ 15 h / día en casa, la asociación fue más fuerte. Para este subconjunto de mujeres, por cada aumento de 10 µg/m^3 de exposición a NO_2, en el segundo trimestre, había una reducción de 22 gramos en el peso al nacer. No se encontró una relación significativa entre los niveles de benceno y las medidas antropométricas al nacimiento.

Con todo esto, se pueden extraer las siguientes conclusiones: La exposición al NO_2, contaminante que sirve de indicador de contaminación relacionada con el tráfico, se asoció con una reducción en la talla y el peso al nacer. Esta asociación fue más clara para el subgrupo de mujeres que pasaban más tiempo en casa, es decir, en aquellas que los niveles de contaminación exterior en la residencia pueden reflejar mejor la verdadera exposición.

(...)

Además de los resultados anteriores se dispone de resultados que indican el efecto de la exposición a contaminación, tanto prenatal como postnatal, sobre la salud respiratoria. Así, en la cohorte de Valencia (Esplugues A. *et al*., 2011), además de las mediciones de exposición a contaminación durante el embarazo, se llevaron a cabo mediciones de los niveles de NO_2, tanto en el interior como en el exterior del domicilio, al primer año de vida de los niños participantes. Se analizó si dichas exposiciones se relacionaban con la incidencia acumulada de problemas de salud respiratoria al año de vida. Los resultados mostraron que los niveles de exposición postnatal a NO_2 en el exterior de la casa se relacionaron con un incremento del riesgo de padecer tos persistente. Sin embargo, no se encontró una asociación con los niveles de NO_2 en el interior de la vivienda, donde los niños pasan más horas al día. Estos resultados parecen indicar que sería la exposición en el exterior asociada al tráfico, de la que el NO_2 es un marcador, la responsable de los efectos en salud respiratoria encontrados.

Además el estudio ha evaluado el posible efecto de la contaminación atmosférica sobre el desarrollo neurológico de los niños, tanto en las cuatro cohortes nuevas, como en la cohorte de Granada. Los resultados sugieren que la exposición temprana, especialmente la que ocurre en la etapa prenatal, a contaminación atmosférica puede afectar negativamente al desarrollo neurológico de los niños. Los resultados también señalan que los efectos negativos ocurrirían. Los resultados anteriores deben ser corroborados con nuevos estudios que evalúen el posible efecto sobre la salud infantil y sobre el desarrollo neurológico a medio y largo plazo. La naturaleza prospectiva del estudio INMA con una extensa evaluación de la exposición a contaminación atmosférica en diferentes etapas de la vida de los niños y niñas participantes, así como la recogida continuada de información sobre problemas de salud, desarrollo y otras variables, permitirá aportar nuevas evidencias a las hipótesis sobre el papel de la contaminación del aire sobre la salud infantil. Además, la participación de la cohorte INMA en diferentes proyectos internacionales ayudará a conseguir dicho propósito.

La población infantil constituye uno de los grupos poblacionales sometidos a mayor riesgo por contaminación atmosférica, lo que fundamentalmente se debe a su inmadurez anatómico-funcional, su mayor consumo energético-metabólico y a su comportamiento social.

- Inmadurez anatómico-funcional (Holt, 1998): Todos los sistemas orgánicos atraviesan diversas fases de hiperplasia e hipertrofia celular que se inician en la época fetal, persistiendo durante la fase infanto-juvenil, para terminar al final de la adolescencia e inicio de la época adulta. Los contaminantes medioambientales, además de afectar a las estructuras anatómicas, alteran las funciones fisiológicas, especialmente las neurocognitivas y neuroconductuales, las endocrinológicas, el sistema de inmunovigilancia, y los mecanismos de neutralización-detoxificación (eliminación de sustancias químicas). Las fases especialmente críticas son, la fetal y la primera infancia, determinando efectos adversos en la salud a corto, medio y largo plazo. Es decir, los niños son más susceptibles a las amenazas medioambientales porque los sistemas corporales aún se están desarrollando, presentando cambios rápidos en el crecimiento, variaciones en la inmadurez orgánica y tisular, y déficit cuantitativos y cualitativos en su sistema de inmunovigilancia.

  Desde el punto de vista fisiológico, el pulmón no está bien formado en el momento del nacimiento, y el desarrollo de su completa funcionalidad no ocurre aproximadamente hasta los 6 años de edad. Durante la infancia temprana, el árbol bronquial se está aún desarrollando. Por ejemplo, el número de alvéolos en el pulmón humano aumenta de 24 millones al nacimiento a los 257 millones a los 4 años, y el epitelio pulmonar no está aún completamente desarrollado. Esto se traduce en una mayor permeabilidad de la capa epitelial en los niños pequeños, que les convierte en mucho más vulnerables a la mala calidad del aire, si además se añade que este colectivo cuenta con una mayor superficie pulmonar por kilogramo de peso corporal que los adultos y que respiran un 50% más de aire por kilogramo de peso corporal, resulta obvio pensar que esta fase de desarrollo y crecimiento representa un tiempo de exposición crítico en el que la contaminación atmosférica puede tener efectos dañinos en la salud respiratoria infantil a largo plazo. Además, al mismo tiempo que el pulmón del niño se está desarrollando, también está en pleno desarrollo el sistema inmunitario (inmaduro al nacimiento).
- Mayor consumo energético-metabólico (Kroll-Smith *et al.,* 2000): Por su rápido crecimiento y desarrollo, los niños necesitan un mayor aporte de oxígeno y de sustancias nutricionales que los adultos, que además de mantener sus necesidades basales aporten la materia prima para la hiperplasia e hipertrofia celular y tisular. Por ello, comen más alimentos, beben más líquidos y respiran más aire por kilogramo corporal que los adultos. La población pediátrica, especialmente durante la primera década de vida, inhala, ingiere y absorbe transdérmicamente más

sustancias tóxicas medioambientales por kilogramo de peso que un adulto. Si a ello unimos la menor capacidad para neutralizar, detoxificar y eliminar los contaminantes externos, el resultado es que los efectos adversos van a ser especialmente intensos y persistentes entre la población infantil.

- Comportamiento Social (Tamburlini *et al.*, 2002): Los niños, por su conducta natural, tienen una mayor espontaneidad, curiosidad y confianza hacia su entorno presentando una mayor indefensión ante las agresiones medioambientales y los signos de alarma que avisan o alertan a los adultos. La tendencia a descubrir, tocar, respirar, degustar y muchas veces ingerir sustancias u objetos que exploran, los convierte en sujetos especialmente expuestos a los tóxicos medioambientales. Al gatear y arrastrarse por los suelos domésticos y en los espacios exteriores, están más expuestos a los contaminantes potenciales del polvo, suelo, químicos, etc. Incluso en el mismo ambiente doméstico, durante los primeros dos años de vida, al estar más tiempo cerca del suelo, respiran compuestos orgánicos volátiles que son más densos y pesados que el aire y que los adultos no inhalan. Son más vulnerables por su inexperiencia en autoprotegerse, porque respiran más rápido e inhalan más aire por unidad de peso comparado con los adultos, y porque pasan más tiempo en ambientes exteriores realizando actividad física, prolongando el tiempo de exposición, además su zona respiratoria se encuentra a menor altura que la de los adultos, de forma que están más expuestos a los gases de los vehículos y a los contaminantes más pesados que se concentran en los niveles mas bajos de la capa de aire.

A todo lo referido anteriormente cabe añadir la exposición "indirecta" del feto como consecuencia de la exposición materna durante periodo prenatal. Resultados de estudios experimentales muestran que en fetos y niños la susceptibilidad es mayor a los efectos tóxicos de contaminantes como partículas en suspensión, derivados de hidrocarburos, compuestos volátiles, humo de tabaco, compuestos clorados, nitratos y metales (Perera *et al.*, 2002). Estos tóxicos llegarían al feto por vía transplacentaria y al niño por vía respiratoria, por ingestión o por vía dérmica y pueden tener consecuencias durante la infancia o a lo largo de etapas más tardías de la vida. La población infantil presenta, por tanto, determinadas características que hacen que su susceptibilidad a los riesgos ambientales sea sustancialmente diferente a la de los adultos.

4.3.2. Efectos de la exposición a las emisiones de tráfico rodado sobre la salud infantil

Una monografía de la OMS (WHO, 2005) revisa la literatura científica sobre el impacto de la contaminación atmosférica en diferentes aspectos de la salud de los niños. Los trabajos científicos analizados indican que existe evidencia suficiente para inferir causalidad en la relación entre la contaminación atmosférica y un aumento en la prevalencia e incidencia de tos y bronquitis. En este informe se recoge que existe menos evidencia para poder asegurar una relación causal entre incidencia del asma y la contaminación del aire en general, aunque si existen datos más consistentes respecto al aumento en la frecuencia de urgencias e ingresos por asma, es decir, en el agravamiento del mismo. La gran mayoría de estos resultados se relacionan con contaminantes derivados principalmente de las emisiones del tráfico, como partículas en suspensión (PM) y dióxido de nitrógeno (NO_2), así como la contaminación por ozono (O_3). No obstante, estudios recientes ponen en cuestión los resultados del informe anterior respecto al desarrollo del asma y el efecto sobre la salud humana de los contaminantes originados por el tráfico (motores diésel en especial) y el ozono. A pesar de que no todos los trabajos son concordantes, algunos de ellos sugieren que la exposición a esos contaminantes atmosféricos supone un mayor riesgo de desarrollar asma y de sensibilización a determinados alérgenos y atopia (Bråbäck & Forsberg 2009)[5].

Las enfermedades respiratorias, alérgicas e infecciosas son un foco de atención prioritario en la investigación epidemiológica relacionada con la contaminación atmosférica en la población infantil, ya que, durante los últimos años, la incidencia de enfermedades respiratorias se ha incrementado de forma destacada sobre todo en la infancia. Por una parte, el asma es probablemente la enfermedad

[5] Atopia: Estado de hipersensibilidad anómala, mediados por el efecto y acción de *anticuerpos IgE* sobre las células, que presentan ciertos individuos ante la presencia de sustancias o condiciones que para el resto de la población son inocuas.

con un incremento más importante en su incidencia en la mayoría de las ciudades en Europa. Otras enfermedades, como las reacciones alérgicas, la bronquitis y las infecciones respiratorias también han experimentado un gran incremento entre la población infantil (Kleinman, 2003). Estos incrementos se atribuyen, al menos en una parte significativa, a los efectos de la contaminación atmosférica asociada al tráfico en las ciudades desarrolladas. En nuestro país, resultados de estudios recientes han mostrado que los niños son más susceptibles a este tipo de contaminantes que la población general (Linares *et al.,* 2006). La exposición infantil a los contaminantes del aire también se ha relacionado con cambios en la función pulmonar. Varios estudios apuntan a que los niños que viven en áreas con mayores niveles de contaminación presentan un retraso en la maduración de la función pulmonar, detectable por lo menos hasta los 18 años (Gauderman *et al.,* 2004). No obstante, la mayoría de estos trastornos son reversibles ya que se ha visto que las mejoras en la calidad del aire conducen a mejoras en la función pulmonar (Dockery, 2009).

En el entorno urbano se presenta una mezcla compleja de contaminantes, pero los niveles de éstos a los cuales son esperados incrementos en el riesgo en salud para los niños no pueden ser determinados con exactitud, por ello aunque muchas ciudades han disminuido sus valores medios de contaminación, no es suficiente porque se siguen asociando a efectos en salud infantil respiratoria (Romieu *et al.,* 2002).

Hay estudios que apuntan a la existencia de efectos adversos incluso a niveles contaminantes que anteriormente habían sido considerados seguros (Schwartz. J. *et al*., 1996). En la actualidad los niveles de plomo (Pb), dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO) han disminuido intensamente debido a la implementación de medidas de control en las ciudades desarrolladas, la atención se ha dirigido entonces al ozono troposférico (O_3), las partículas o material particulado (PM) y los óxidos de nitrógeno (NO_x), debido a su tendencia creciente en las ciudades y a que su principal fuente de origen es el tráfico rodado. Aunque los agentes contaminantes del aire puedan ejercer sus propios efectos tóxicos específicos individuales sobre los sistemas respiratorios y cardiovasculares, el ozono, los óxidos de nitrógeno, y las partículas, todos comparten la propiedad común de ser potentes oxidantes, por efectos directos sobre lípidos y proteínas o indirectamente a través de la activación de vías oxidantes intracelulares[6].

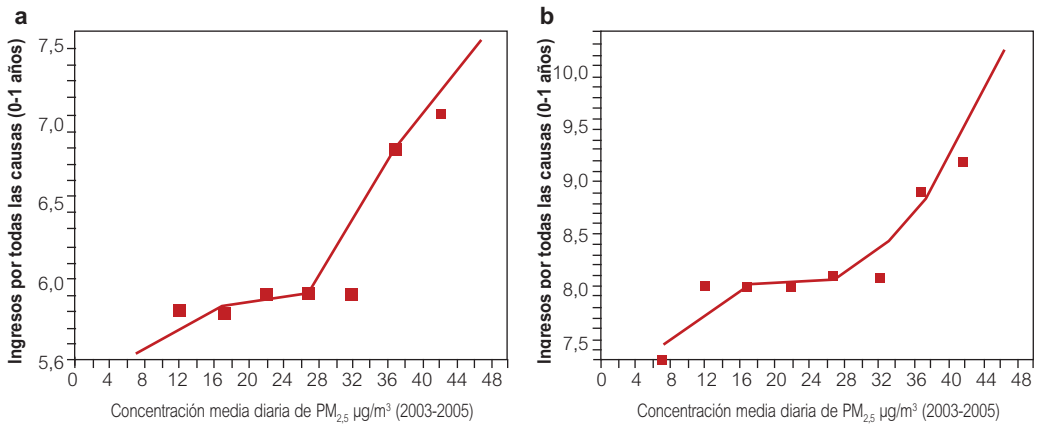
Efectos de los Contaminantes en la salud infantil

- Del Ozono troposférico: El ozono es un poderoso oxidante e irritante del tracto respiratorio en niños, causando dificultad al respirar, inflamación pulmonar, dolor de pecho al inhalar profundamente, tos y otros síntomas respiratorios como exacerbación del asma en días con altos niveles de ozono (Thurston *et al*., 1997). La exposición a largo plazo y la exposición repetida al ozono puede llevar a una reducción crónica de la función pulmonar. Los incrementos en los niveles de ozono se han asociado con hospitalizaciones por causas respiratorias y asma (Tolbert *et al.,* 2000) y absentismo escolar por enfermedades del tracto respiratorio (Gilliand *et al*., 2001). En un trabajo en el Sur de California, el absentismo escolar debido a enfermedades del tracto respiratorio se incrementaron en un 63% asociadas con un incremento de 0,02 ppm en los niveles de ozono ambiental (Gilliand *et al*., 2001). Otros estudios han encontrado asociaciones por ozono y síntomas respiratorios en niños con asma a niveles por debajo de los estándares de protección de la EPA (*US Environmental Protection Agency*) (*American Thoracic Society.* 1996).
- De las Partículas: En niños, la exposición prolongada a este contaminante puede afectar al crecimiento y al funcionamiento de los pulmones, las investigaciones realizadas han encontrado que en los niños que crecen en áreas muy contaminadas en PM, hay un notable retraso en el crecimiento de la función pulmonar (Yu *et al*. 2000). Además, estudios recientes sugieren que la contaminación por partículas (exposición a emisiones diésel) puede exacerbar el asma y la rini-

[6] El daño o estress oxidativo se ha definido como la exposición de la materia viva a diversas fuentes que producen una ruptura del equilibrio que debe existir entre las sustancias o factores prooxidantes y los mecanismos antioxidantes encargados de eliminar dichas especies químicas, ya sea por un déficit de estas defensas o por un incremento exagerado de la producción de especies reactivas del oxígeno. Todo esto trae como consecuencia alteraciones de la relación estructura-función en cualquier órgano, sistema o grupo celular especializado. Por lo tanto se reconoce como mecanismo general de daño celular, asociado con la fisiopatología primaria o la evolución de un número creciente de entidades y síndromes de interés médico-social, involucrado en la génesis y en las consecuencias de dichos eventos.

tis alérgica, producir tos crónica y otros síntomas respiratorios en los niños. El estudio "PEACE (*Pollution Effects on Asthmatic Children in Europe*)", se ha completado en 28 regiones de Europa y ha mostrado efectos de las partículas y el dióxido de nitrógeno sobre la función pulmonar y síntomas respiratorios agudos (Roemer *et al.*, 2000). En Francia, la contaminación por PM_{10} es responsable anualmente de 450.000 casos de bronquitis aguda y 243.000 ataques de asma en niños (Kunzli *et al.*, 2000). En un estudio de la OMS llevado a cabo en las ocho ciudades italianas principales se estimó que el 28,6% de todas las bronquitis agudas en niños menores de 15 años era atribuible a las partículas (WHO, 2003). Estudios adicionales han mostrado que las partículas finas ($PM_{2.5}$) en las emisiones diesel pueden intensificar las respuestas alérgicas e inflamatorias y facilitar el desarrollo de nuevas alergias. Son pocos los trabajos que analizan el efecto de las $PM_{2,5}$ sobre la salud infantil en las ciudades europeas. En España, se ha encontrado una asociación estadísticamente significativa entre las $PM_{2,5}$ y los ingresos hospitalarios por urgencias en menores de 10 años en Madrid (Linares y Díaz, 2009). Destaca este estudio, la existencia de una relación lineal y sin umbral similar a la encontrada para las PM_{10} en población general, pero marca la diferencia el brusco aumento que se detecta en los ingresos hospitalarios de menores de 10 años para concentraciones próximas a los 25 µg/m³.

FIGURA 4.3.1. Diagramas de dispersión entre la concentración media diaria de $PM_{2,5}$ y los ingresos hospitalarios por todas las causas. a) en niños de entre 0 y 1 año, b) en menores de 10 años.



Fuente: LINARES C. y DÍAZ J. *Gaceta Sanitaria* 2009. 23 (3): 192-197.

Cabe destacar que la OMS establece precisamente este valor para las concentraciones medias en 24h como valor guía para la protección de la salud a corto plazo (a partir de este valor aumenta la mortalidad en la población general). Por otra parte, una gran cantidad de trabajos han relacionado los niveles prevalentes de contaminación atmosférica con un incremento de la mortalidad infantil, especialmente con las partículas (Gouveia y Fletcher, 2000; Conceiçao *et al.*, 2001; Valente *et al.*, 2004; Díaz *et al.*, 2004). En concreto, se ha asociado la contaminación por partículas con bronquitis aguda en niños y se ha demostrado que la tasa de bronquitis y tos crónica se reduce en áreas donde la concentración de partículas ha disminuido (Schwartz, 2004).

- De los Óxidos de Nitrógeno: Los óxidos de nitrógeno son contaminantes gaseosos producidos principalmente por la combustión en motores diesel y de gasolina. Actualmente la emisión de óxidos de nitrógeno se ha incrementado debido al creciente número de vehículos en el entorno urbano. Son precursores del ozono troposférico y también son transformados rápidamente en dióxido de nitrógeno (NO_2) por oxidantes atmosféricos como el propio ozono. Por otra parte, el dióxido de nitrógeno, es el componente más importante de los óxidos de nitrógeno que provoca efectos agudos en la salud. Los estudios epidemiológicos han registrado relaciones entre

incrementos en la concentración de dióxido de nitrógeno y riesgos de síntomas en el tracto respiratorio así como la exacerbación del asma. La exposición al dióxido de nitrógeno puede tener influencia sobre el asma de dos formas: disminuyendo el umbral de los alérgenos en el desarrollo del asma y empeorando la morbilidad de la atopia o el asma existente (Peters *et al*., 1999). Algunos estudios específicos han mostrado que el NO_2 derivado del tráfico se ha asociado con la prevalencia de asma y síntomas respiratorios en niños (Shima *et al*., 2002). El dióxido de nitrógeno podría contribuir a las exacerbaciones de las enfermedades respiratorias como el asma por su capacidad para perjudicar la función de los macrófagos alveolares y las células epiteliales, aumentando así el riesgo de infección pulmonar, ya que puede reducir la capacidad del sistema respiratorio de expeler partículas patógenas como bacterias y virus del pulmón.

El conocimiento de qué componentes de los contaminantes son responsables de cualquier efecto en salud observado en los estudios epidemiológicos, tiene una importancia obvia. Para el ozono, la situación es relativamente simple. Existe una gran base de datos experimental que evidencia que el ozono tiene efectos biológicos significativos a las concentraciones ambientales. Además, la correlación entre el ozono y otras concentraciones de contaminantes en el aire exterior es a menudo baja, de modo que los efectos del ozono y los de otros agentes contaminadores pueden ser separados con relativa facilidad. Para el dióxido de nitrógeno, la situación es más compleja, la evidencia para efectos biológicos a las concentraciones ambientales es mucho más débil que para el ozono. En el aire exterior, el dióxido de nitrógeno está a menudo altamente correlacionado con otros productos de combustión como las partículas $PM_{2.5}$, en la mayor parte de circunstancias, el dióxido de nitrógeno sirve como un representante de todos los productos de combustión relacionados con el tráfico. Por ello hay estudios que argumentan que la evidencia epidemiológica disponible es aún limitada y el efecto de las concentraciones de NO_2 ambientales no son concluyentes.

Como conclusión, señalar que existe suficiente evidencia científica para afirmar que la exposición a contaminación atmosférica en niños provoca efectos agudos, como descenso en la función pulmonar y exacerbación de episodios de neumonía y asma (Brunekreef y Sunyer, 2003). También hay indicios crecientes de una asociación con efectos crónicos, como la bronquitis crónica, asma, alergias, sibilancias (Brauer *et al*., 2002; Gauderman *et al*., 2007; Jerrett *et al*., 2008).

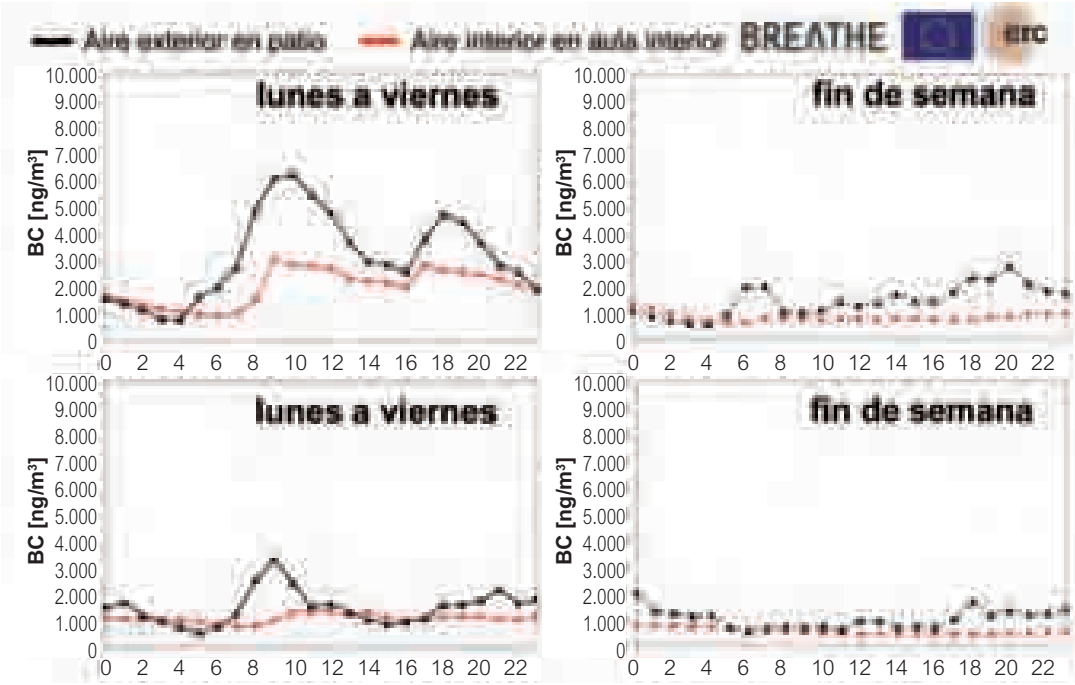
4.4. La Ubicación de colegios y escuelas infantiles: Un riesgo de exposición a contaminación atmosférica en la población infantil

Actualmente, la contaminación atmosférica asociada al tráfico representa uno de los problemas de salud pública más importantes en las ciudades. En la mayoría de las ciudades europeas, el tráfico rodado es la fuente más importante de emisión de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) y material particulado. Los contaminantes primarios emitidos por tubos de escape constituyen hasta un 30% del total de las partículas finas ($PM_{2,5}$), y otros contaminantes generados por la resuspensión de polvo y los frenos de los vehículos son la fuente más importante de partículas de fracción gruesa (entre 2,5 y 10 µm de diámetro) (Krzyzanowski *et al*., 2005). La evidencia epidemiológica de efectos adversos sobre la salud por la exposición a PM (especialmente a partículas finas) es cada vez más consistente, no habiéndose hallado un nivel umbral por debajo del cual no existan efectos en salud (WHO, 2005).

Y a pesar de todo ello, es muy frecuente ver en nuestras ciudades como se construyen parques infantiles en la acera y en las inmediaciones de vías de circulación con una elevada intensidad de tráfico. La población infantil, como hemos visto en el apartado anterior, es muy susceptible al impacto de la contaminación atmosférica y ello debería de tenerse en cuenta al ubicar dichos parques de juego. Los mismos criterios deberían de aplicarse también en la ubicación de colegios para reducir la exposición de la población infantil. Igualmente nuestros mayores y los usuarios de los centros de atención de día son también una población muy vulnerable y que debe protegerse especialmente frente a la contaminación del aire. Es importante no ubicar las infraestructuras logísticas citadas anteriormente en las proximidades de estas circunvalaciones con alta intensidad de tráfico y por tanto importantes fuentes de emision de contaminantes.

A modo de ejemplo de la relevancia que puede tener el impacto del tráfico en la calidad del aire de un colegio en la Figura 4.4.1 se muestran algunos resultados preliminares del proyecto *ERC-Advanced Grant BREATHE (BRain dEvelopment and Air polluTion ultrafine particles in scHool childrEn)*, coordinado por el CREAL (Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental) con la participación del IDAEA-CSIC (Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua). La figura muestra los niveles medios horarios de carbono negro (BC, mayoritariamente procedente del tráfico) registrados en el interior de aulas (color rojo) y en el exterior del colegio (color negro) en días laborales y fines de semana en dos colegios de Barcelona. El superior corresponde a un colegio próximo al tráfico y el otro a un o alejado del tráfico. Como se puede apreciar en la figura, en ambos colegios los niveles registrados en el exterior del edificio varían en función del tráfico, siendo muy evidentes los picos de concentración matinales y vespertinos. Éstos son más pronunciados en los días laborales que en el fin de semana. Sin embargo los niveles son muy superiores en el colegio próximo al tráfico, en el que además el BC en el interior de las aulas muestra también los picos de tráfico matinal y vespertino.

FIGURA 4.4.1. Niveles medios horarios de carbono negro (BC, mayoritariamente procedente del tráfico) registrados en el interior de aulas y en el exterior del colegio en días laborales y fines de semana en dos colegios de Barcelona. El superior corresponde a un colegio próximo al tráfico y el otro a un o alejado del tráfico.



Fuente: *Proyecto ERC-Advanced Grant BREATHE.*

En la mayor parte de los casos el diseño urbano del centro de las grandes ciudades es difícilmente modificable en lo referente a la creación de zonas verdes, pero si que podemos reducir la exposición personal a la que está sometida la población si aplicamos criterios de calidad del aire en la ubicación y diseño de infraestructuras logísticas tales como zonas de juego infantil, centros deportivos al aire libre, colegios, centros de atención primaria y carriles bici entre otros.

4.4.1. Actuaciones desarrolladas en Reino Unido para evitar la exposición de la población infantil a niveles de contaminación elevados: la Campaña de Aire Limpio

Las evidencias científicas expuestas en los apartados anteriores afirman que la exposición a altos niveles de contaminación atmosférica por tráfico rodado de carreteras supone un incremento del ries-

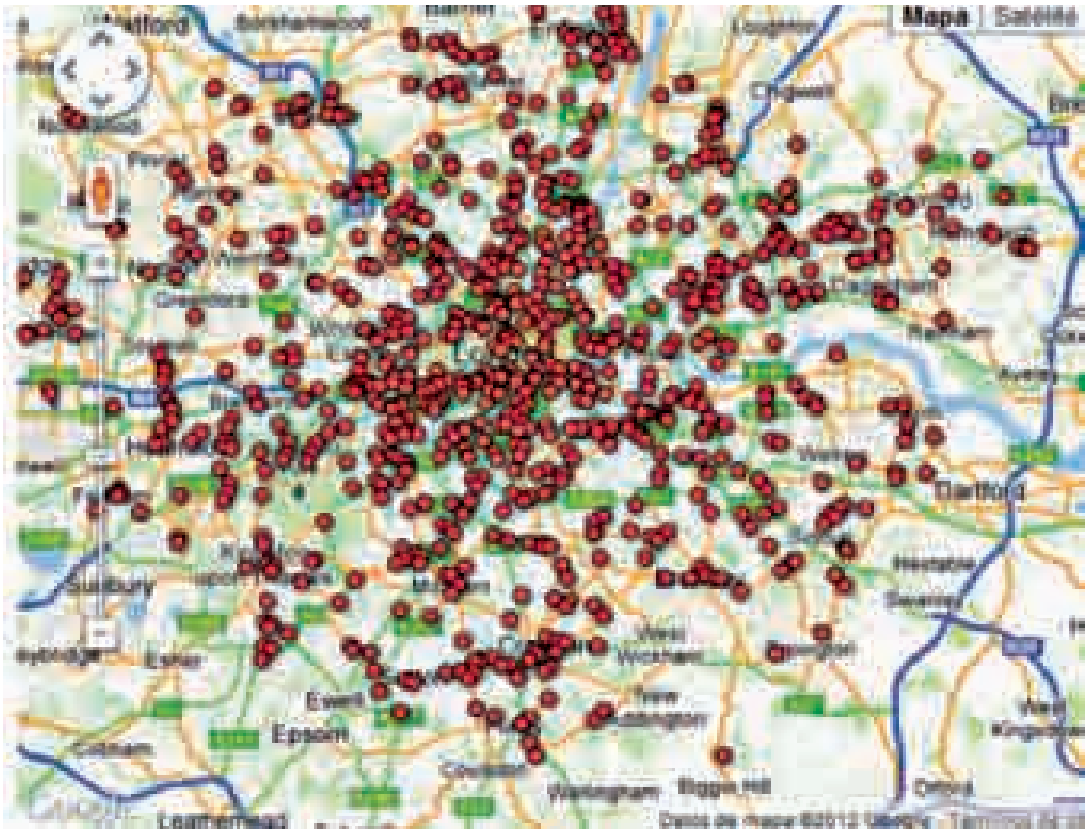
go a desarrollar asma, enfermedades relacionadas con el aparato respiratorio (Bayer-Oblesby *et al*., 2006) e incluso el riesgo de morir por causa cardio-respiratoria (Hoek *et al*., 2002). Entre el colectivo infantil, la exposición prolongada puede deberse a la cercanía de sus hogares o sus colegios a una autovía con una gran intensidad de tráfico.

Los resultados científicos indican que vivir o estar próximos a carreteras por las que circulan 10.000 vehículos o más al día puede ser el responsable de entre el 15% al 30% de todos los casos de asma en niños, así como ser responsable de enfermedades como la obstrucción pulmonar crónica y enfermedades coronarias en personas mayores de 65 años (*Clean Air in London*, 2012).

Basándose en estas evidencias, la ciudad de Londres desarrolló en 2005 la "Campaña de Aire Limpio". En esta campaña se analizaron los colegios de la ciudad que estaban expuestos por su proximidad a vias de alta intensidad de tráfico a altos niveles de contaminación, en los cuales existía un mayor riesgo de padecer asma para sus alumnos y se realizó una campaña de sensibilización y sugerencias.

El análisis de la distancia de los colegios de la ciudad de Londres a las vías de comunicación, contabilizó un total de 1.148 colegios situados a menos de 150 metros de una carretera por la que circulaban 10.000 o más vehículos por día y un total de 2.270 colegios se encontraban a menos de 400 metros de estas carreteras.

MAPA 4.4.1. Distribución espacial de los colegios de la ciudad de Londres situados a menos de 150 metros de una carretera con Intensidad Media Diaria mayor de 10.000 vehículos/día.



Fuente: *Green Party.* On line http://www.jennyforlondon.org/schools/ [4 oct 2012].

Las sugerencias y propuestas que se desarrollaron en la "Campaña de Aire Limpio" fueron las siguientes:

- Informar a padres y profesores cuando se produzcan días de alta contaminación.
- El responsable local debe tomar medidas inmediatas para reducir el tráfico y con ello la contaminación estos días.

- Crear una zona de baja emisión en la que solo se permita entrar vehículos limpios al centro de la ciudad.
- Conseguir que todos los autobuses públicos sean híbridos
- Restaurar el plan de taxis híbridos.

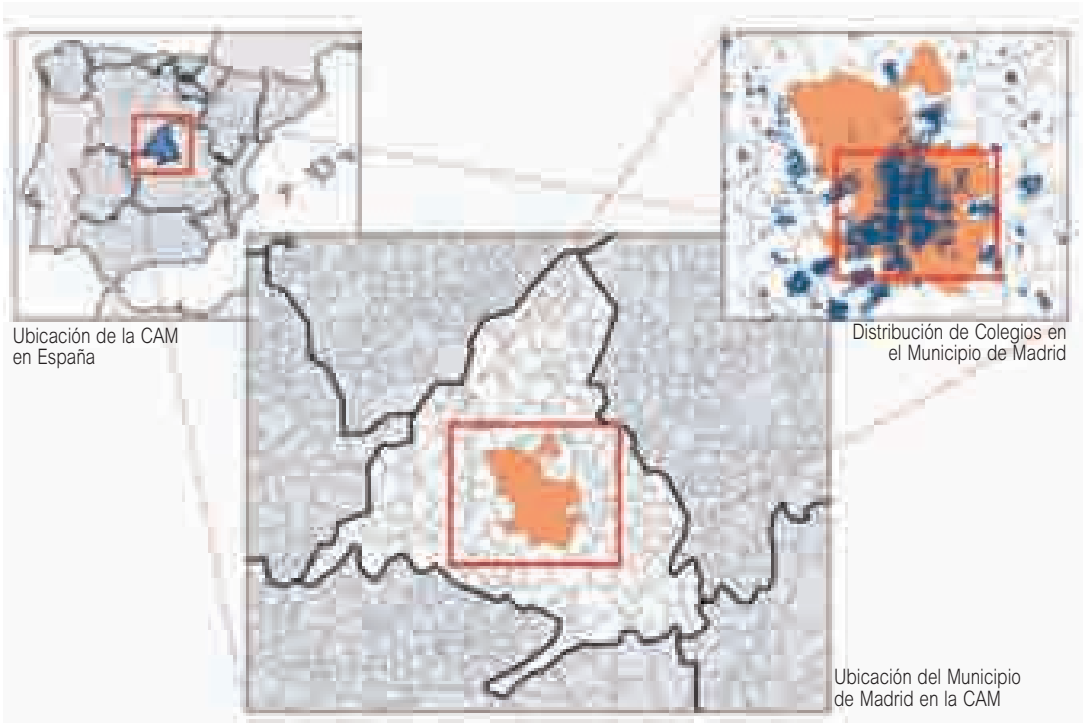
Tomando como referencia, y ejemplo de buenas prácticas, la experiencia previa de la "Campaña de Aire Limpio" de la ciudad de Londres, en el siguiente apartado se ha analizado la exposición de los colegios y escuelas infantiles de la ciudad de Madrid a la contaminación atmosférica por tráfico rodado.

4.4.2. Ubicación de centros educativos en la ciudad de Madrid y su relación con la calidad del aire y la salud de los escolares

Este apartado del informe representa una primera evaluación de la influencia que tiene sobre la salud de los escolares de la ciudad de Madrid la cercanía de sus centros educativos a las vías de comunicación con elevada intensidad de tráfico. Los datos resultantes se han contrastado con los niveles de exposición de los escolares a diferentes contaminantes atmosféricos relacionados con el tráfico rodado PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2 y O_3.

Se analizan además en detalle los centros educativos que imparten educación infantil, ya que es este sector de la población el más vulnerable a la contaminación provocada por el tráfico rodado.

MAPA 4.4.2. Localización del área de estudio, y de los centros educativos de la ciudad de Madrid.



Fuente: Elaboración OSE a partir de datos de la CAM e IGN-MFOM.

Para el análisis se ha partido de la siguiente información cartográfica:

- Colegios del SIG la CAM del curso 2011/2012 y su clasificación según niveles educativos. Fuente: Comunidad de Madrid.
- Estadísticas del número de alumnos por centro educativo. Fuente: Comunidad de Madrid.

- Vías de comunicación del Ayuntamiento de Madrid y su clasificación según la Intensidad Media Diaria 2010. Fuente: Área de Gobierno de Seguridad y Movilidad del Ayuntamiento de Madrid.
- Estaciones de calidad del aire de la CAM de PM_{10}, PM_{25}, O_3 y NO_2. Fuente. CIEMAT
- Datos de la Evaluación de la calidad del aire en España utilizando modelización. Preevaluación año 2010 CIEMAT.

A partir de los datos disponibles se han clasificado las vías de comunicación de la ciudad de Madrid según su Intensidad media diaria (IMD), seleccionando las vías con una IMD mayor de 10.000 vehículos/día. Partiendo de esta información se han analizado los centros educativos –colegios y escuelas infantiles– que se encuentran a una distancia menor de 150 metros y menor de 400 metros de distancia de estas vías de comunicación .

Finalmente, se han analizado los niveles de calidad del aire en el entorno de los centros educativos resultantes con los datos de las estaciones de medida disponibles y las tendencias generales de la ciudad de Madrid a partir de modelos regionales de calidad del aire.

La intensidad de tráfico en la ciudad de Madrid es muy elevada, por lo que casi la totalidad de sus carreteras tienen una IMD mayor de 10.000 veh./día, por ello se ha incorporado en el análisis aquellos centros que están en una situación aún más crítica, por estar próximos a viales con una intensidad que cuatriplica los 10.000 vehículos/día (con una IMD ≥ 40.000 vehículos/día).

Los resultados, que a continuación se presentan, están subdimensionados ya que no se han incluido las carreteras competencia de la Comunidad de Madrid y del Ministerio de Fomento, que se encuentran dentro del municipio de Madrid, como por ejemplo la M-40 y la M-45, con IMD muy elevados.

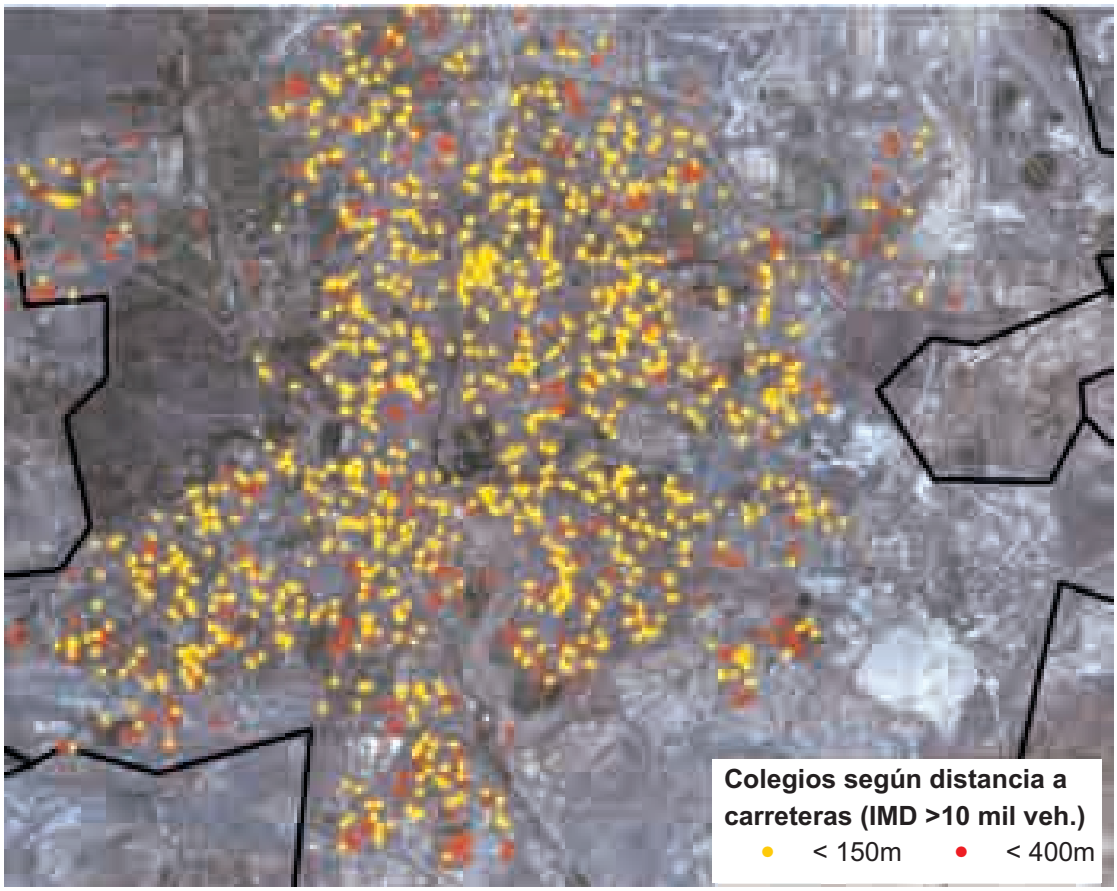
En el curso escolar 2011-2012, en la ciudad de Madrid había 1616 centros educativos, de los cuales 912 centros (el 56%) estaban a una distancia menor de 150 metros de vías de comunicación con IMD mayor de 10.000 vehículos/día, y 1469 centros (el 91%) estaban a una distancia menor de 400 metros (ver Mapa 4.4.3 y Tabla 4.4.1). El total de alumnos afectados para el primer caso ascienden a 329.738 alumnos, (el 58% del total), llegando a afectar hasta 516.514 alumnos (el 91% del total) cuando se contabilizan a alumnos que asisten a centros escolares ubicados a una distancia menor de 400 metros de un vial con una IMD ≥ 10.000 vehículos/día

TABLA 4.4.1. Número de centros educativos y de centros con educación infantil, y número de alumnos, según distancia a vías de comunicación con IMD mayor de 10.000 y 40.000 vehículos/día.

	Madrid Ciudad vías IMD > 10.000 veh./día		Madrid Ciudad vías IMD > 40.000 veh./día	
	Total centros educativos	Total centros Educación Infantil	Total centros educativos	Total centros Educación Infantil
Número de centros Número de alumnos	**1.616** 566.815	**1.150** 128.903	**1.616** 566.815	**1.150** 128.903
Número de centros Distancia < 150 metros Número de alumnos	**912** 329.738	**625** 68.363	**259** 78.387	**170** 15.845
Número de centros Distancia < 400 metros Número de alumnos	**1.469** 516.514	**1.045** 115.042	**834** 284.031	**566** 59.325

Fuente: Elaboración OSE a partir de datos de la CAM y del Ayuntamiento de Madrid.

MAPA 4.4.3. Centros educativos de la ciudad de Madrid a una distancia menor de 150 metros y 400 metros de vías de comunicación con una IMD>10.000 veh/día.



Fuente: Elaboración OSE a partir de datos de CAM y Ayuntamiento de Madrid.

Escolares entre 0-6 años: educación infantil

La población infantil, y principalmente hasta los 6 años edad en que finaliza el desarrollo de la completa funcionalidad pulmonar, constituye uno de los grupos poblacionales sometidos a mayor riesgo por contaminación atmosférica. Esto se debe fundamentalmente a su inmadurez anatómico-funcional, su mayor consumo energético-metabólico y a su comportamiento social, aspectos que se analizan detalladamente en el apartado 4.3.1 de este informe.

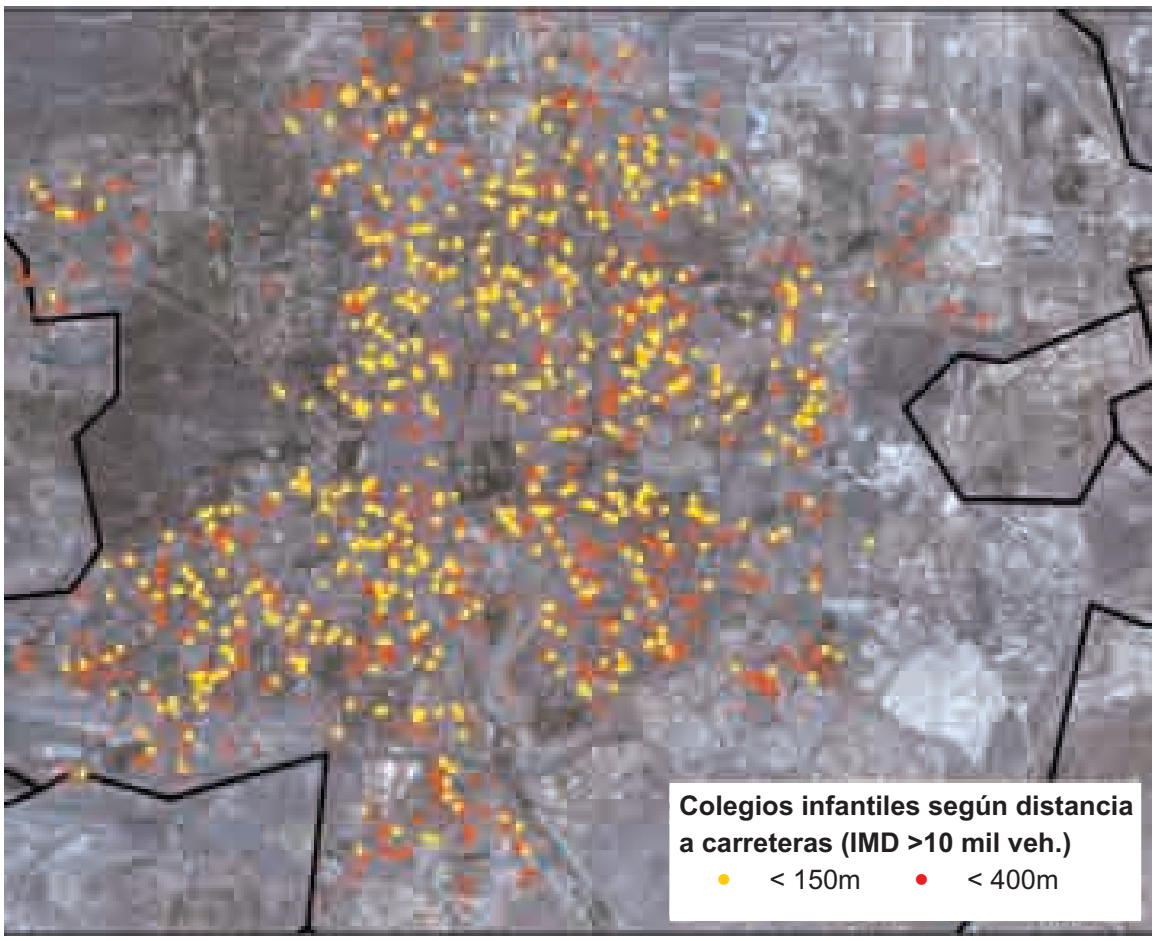
Atendiendo a la vulnerabilidad de este colectivo social a la exposición prolongada a sustancias contaminantes, se ha realizado el análisis de los centros educativos de la ciudad de Madrid que están ubicados en las inmediaciones de vías con elevada intensidad de tráfico.

Los resultados indican que en el curso escolar 2011-2012, en la ciudad de Madrid había 1150 centros educación infantil (0-5 años), 625 de estos centros (un 53%) estaban ubicados a menos de 150 metros de vías comunicación con IMD mayor de 10.000 vehículos/día, afectando a un total de 68363 alumnos (53% del total). A una distancia menor de 400 metros de viales con una IMD ≥ de 10.000 vehículos/días se encuentran 1045 centros (el 89%) afectando 115.042 alumnos de educación infantil de la ciudad de Madrid (el 89% del total).

Para comprobar la influencia de la intensidad de tráfico sobre la calidad del aire en los centros escolares, se han analizado las tendencias regionales de calidad del aire y los datos de las estaciones de medida (ver Mapa 4.4.5) de los principales contaminantes relacionados con el tráfico rodado en la ciudad de Madrid.

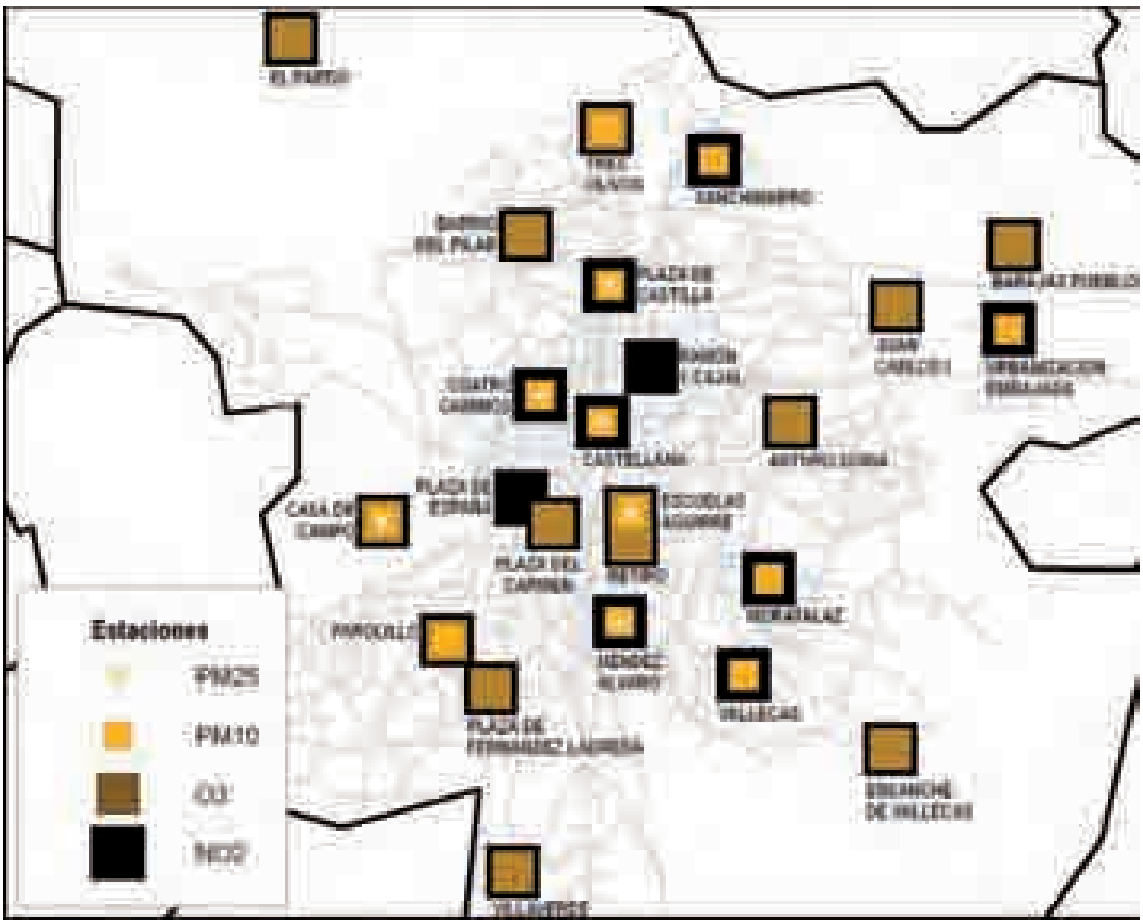
En los últimos años, se ha producido una mejora en la calidad del aire en la Comunidad de Madrid como consecuencia de implementación de políticas y normativas –directivas de calidad del aire y del transporte aprobadas por la UE–, mejoras tecnológicas en el sector industrial y en el transporte. La Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA-32) en una revisión sobre el impacto de las distintas medidas adoptadas en 32 países para el periodo 1990-2005, estima que en 2011 se produjo una reducción de CO del 80%, de componentes orgánicos volátiles no metanos (NMVOC) del 68%, de NO_x del 40% y de $PM_{2,5}$ del 60% con respecto al 2005 cuando todavía no se habían adoptado dichas medidas. El impacto de este conjunto de medidas en la salud por el sector transporte fue de una reducción del 13% en años vida perdidos por $PM_{2,5}$ y del 17% por el Ozono. En el sector industrial se produjo una reducción del 60% en años de vida perdidos pero se incrementó en un 17% por Ozono (Susann Henschel *et al.*, 2012).

MAPA 4.4.4. Escuelas infantiles de la ciudad de Madrid a una distancia menor de 150 metros y 400 metros de vías de comunicación con una IMD>10.000 veh./día.



Fuente: Elaboración OSE a partir de datos de CAM y Ayuntamiento de Madrid.

MAPA 4.4.5. Estaciones de medida de calidad del aire en la ciudad de Madrid.



Fuente: Elaboración OSE a partir de datos de CAM y Ayuntamiento de Madrid.

Sin embargo, aunque los niveles medios anuales de algunos contaminantes han mejorado considerablemente, en algunos de ellos ($PM_{10,}$ O_3 y NO_2) aún se está lejos de conseguir los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud (PM_{10}<20 ug/m^3, NO_2<40ug/m^3, $PM_{2,5}$<10 ug/m^3 como media máxima anual y Ozono <100ug/m^3 como media máxima octohoraria diaria). Además sigue existiendo un importante número de superaciones diarias de los límites establecidos por la OMS y el Marco Regulatorio europeo sobre calidad del aire (ver Anexo I) para los contaminantes analizados.

A continuación se analizan los valores medios anuales y de superaciones de umbrales diarios recogidos por las estaciones de medida de calidad de aire de la ciudad de Madrid, desglosados por contaminante:

Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

La contaminación por NO_2 se debe mayoritariamente a la combustión en motores diesel y de gasolina, por lo que este contaminante, como ya hemos indicado en apartados anteriores representa un excelente indicador de la influencia del tráfico sobre la contaminación atmosférica.

La incidencia del NO_2 en la salud infantil, esta ya suficientemente demostrada, causa exacerbación de enfermedades respiratorias, favoreciendo el desarrollo del asma y empeorando la morbilidad

de la atopia o el asma existente (Peters et al., 1999; Shima et al., 2002), y sobre el desarrollo fetal por la exposición de mujeres embarazadas a elevadas concentraciones de forma prolongada (proyecto INMA, ver apartado 4.2.1).

Lamentablemente los resultados de concentración media diaria de NO_2 para la ciudad de Madrid en 2011, son muy superiores a los permitidos por el marco regulatorio europeo para calidad del aire y por la OMS (ver Anexo I), fijando valor límite en ambos casos en <40 ug/m^3. Este umbral se supera en el 71% de las estaciones, y tiene valores superiores a 35 ug/m^3 en el 88% de las estaciones (Tabla 4.4.2).

La estación de Plaza de Fernández Ladreda es la que registra mayores valores de concentración Media Diaria alcanzando los 63ug/m^3 y de superaciones diarias de 200ug/m^3 hasta 103 días (Mapa 4.4.6).

TABLA 4.4.2. Estaciones de medida de NO_2 en la ciudad de Madrid.

ESTACIÓN	MEDIA DIARIA	SUPERACIONES DIARIAS de 200 µg/m^3
Plaza de Fernández Ladreda	63,2	103
Escuelas Aguirre	60,2	34
Cuatro Caminos	55,2	22
Ramón y Cajal	53,8	86
Plaza de Castilla	51,5	15
Plaza del Carmen	51,0	1
Plaza de España	50,9	5
Barrio del Pilar	49,3	98
Urbanización Embajada	48,6	8
Moratalaz	47,8	0
Méndez Álvaro	47,6	20
Castellana	47,5	9
Villaverde	46,0	17
Vallecas	44,6	3
Arturo Soria	44,1	20
Farolillo	40,5	1
Barajas Pueblo	40,0	1
Sanchinarro	39,8	40
Ensanche de Vallecas	39,6	29
Tres Olivos	38,8	0
Retiro	36,6	0
Casa de Campo	29,5	0
Juan Carlos I	28,5	1
El Pardo	22,9	0

Fuente: CAM. *Nota*: se han marcado en rojo las superaciones de los umbrales de media diaria según OMS y UE.

La estación de Plaza de Fernández Ladreda es la que registra mayores valores de concentración Media Diaria alcanzando los 63ug/m^3 y de superaciones diarias de 200ug/m^3 hasta 103 días (Mapa 4.4.6).

MAPA 4.4.6. Ubicación de la estación de medida de calidad del aire de Plaza Fernández Ladreda y de los centros educativos cercanos –edificios en rojo–, que se encuentran a una distancia < de 150 metros de vías con IMD>10.000 vehículos/día.

Fuente: CAM.

Partículas ($PM_{2.5}$)

La OMS recomienda utilizar las $PM_{2,5}$ frente a las PM_{10} para calcular el efecto en salud de las contaminación atmosférica, ya que las primeras son mas dañinas y las segundas tienen un importante componente de origen natural, sobre todo en las ciudades del sur de Europa expuestas a las intrusiones de polvo sahariano (Ver apartado 4.7).

En las seis estaciones para las que se obtuvieron mediciones de $PM_{2,5}$, los valores de media anual oscilaban entre 10,2 y 14,8, situándose por debajo del nivel establecido por la UE de 25 µg/m³, de concentración media anual, pero superando el valor guía marcado por la OMS para efectos a largo plazo establecido en 10 µg/m³, a estos niveles ya se ha demostrado que la mortalidad cardio-pulmonar aumenta por la exposición prolongada a estos umbrales (ver Tabla 4.4.3).

TABLA 4.4.3. Estaciones de medida de $PM_{2.5}$ en la ciudad de Madrid.

ESTACIÓN	MEDIA ANUAL	SOBREPASAMIENTO de 200 µg/m³ (días)
Escuelas Aguirre	14,8	17
Cuatro Caminos	14,6	19
Plaza de Castilla	10,9	5
Casa de Campo	10,2	2
Castellana	10,4	4
Méndez Álvaro	12,8	11

Fuente: Comunidad de Madrid

MAPA 4.4.7. Estación de $PM_{2.5}$ de Cuatro Caminos (en verde) y ubicación de los centros educativos (en rojo).

Fuente: Elaboración OSE a partir de datos de la CAM, Ayuntamiento de Madrid e IGN-IDEE.

Partículas (PM_{10})

En 2011, todas las estaciones tuvieron una concentración media anual inferior al límite establecido por las directivas europeas (< 40 µg/m³). Sin embargo, en todas las estaciones, excepto en las de Casa de Campo y San Chinarro, se sobrepasó el umbral de la OMS de concentración media anual < 20 µg/m³, y se superó varios días el umbral máximo diario de 50 µg/m³ de la CE (Tabla 4.4.4).

TABLA 4.4.4. Estaciones de medida de PM_{10} en la ciudad de Madrid.

ESTACIÓN DE MEDIDA	MEDIA ANUAL	SUPERACIONES DIARIAS 50 µg/m³
Escuelas Aguirre	30,3	38
Cuatro Caminos	28,3	23
Vallecas	23,5	6
Plaza de Castilla	23,5	10
Moratalaz	22,7	6
Casa de Campo	19,7	5
Urbanización embajada	20,5	3
Farolillo	23,6	9
Castellana	22,7	7
Sanchinarro	19,2	3
Tres Olivos	20,4	3
Méndez Álvaro	25,3	17

Fuente: CAM

Los elevados niveles de PM provocan un notable retraso en el crecimiento de la función pulmonar en los niños (Yu et al, 2000) y puede exacerbar el asma y la rinitis alérgica también en la población infantil (Roemer et al., 2000).

La estación de Escuelas Aguirre es la que se ha recogido los mayores valores de concentración media anual y de superaciones diarias de PM_{10} en 2011, en el **mapa 4.4.8** se representan los colegios situados en las inmediaciones de dicha estación.

MAPA 4.4.8. Ubicación de la estación de medida de calidad del aire de Escuelas Aguirre y de los centros educativos cercanos, que se encuentran a una distancia < de 150 metros de vías con IMD>10.000 vehículos/día.

Fuente: Elaboración OSE a partir de datos de la CAM, Ayuntamiento de Madrid e IGN-IDEE.

Ozono (O_3)

Los resultados de las estaciones de medida de los niveles de O_3 en la ciudad de Madrid, indican la presencia de elevadas concentraciones de este contaminante, existiendo en todas las estaciones días en los que se superó el umbral de 100 μg/m³ de máxima diaria de las medias móviles octohorarias (valor recomendado por la OMS sin máximo de días). En las estaciones en las que mayor número de días se supera esta concentración, también se supera durante más de 25 días al año el umbral de 120 μg/m³ fijado por el marco regulatorio europeo para la calidad del aire. Estas estaciones están ubicadas en la periferia del municipio destacando las estaciones de Juan Carlos I, Tres Olivos y Barajas Pueblo, por haberse superado en 2011 un día el umbral de alerta de 180 μg/m³.

TABLA 4.4.5. Estaciones de medida de O_3 en la ciudad de Madrid.

ESTACIÓN	DIAS DE SUPERACIÓN 120 μg/m³	DIAS DE SUPERACIÓN 100 μg/m³	DÍAS DE SUPERACIÓN 180 μg/m³
Juan Carlos I	41	132	1
Tres Olivos	36	115	1
Barajas Pueblo	30	101	1
Ensanche de Vallecas	30	115	0
El Pardo	30	91	0
Barrio del Pilar	7	32	0
Casa de Campo	7	38	0
Arturo Soria	6	40	0
Farolillo	6	38	0
Plaza del Carmen	5	44	0
Retiro	5	39	0
Escuelas Aguirre	1	12	0
Plaza de Fernández Ladreda	1	19	0
Villaverde	0	3	0

Fuente: CAM

MAPA 4.4.9. Ubicación de las estaciones de medida de calidad del aire de O_3 en la ciudad de Madrid y número de días en que se superan los 120ug/m^3.

Fuente: Elaboración OSE a partir de datos de la CAM, Ayuntamiento de Madrid e IGN-IDEE.

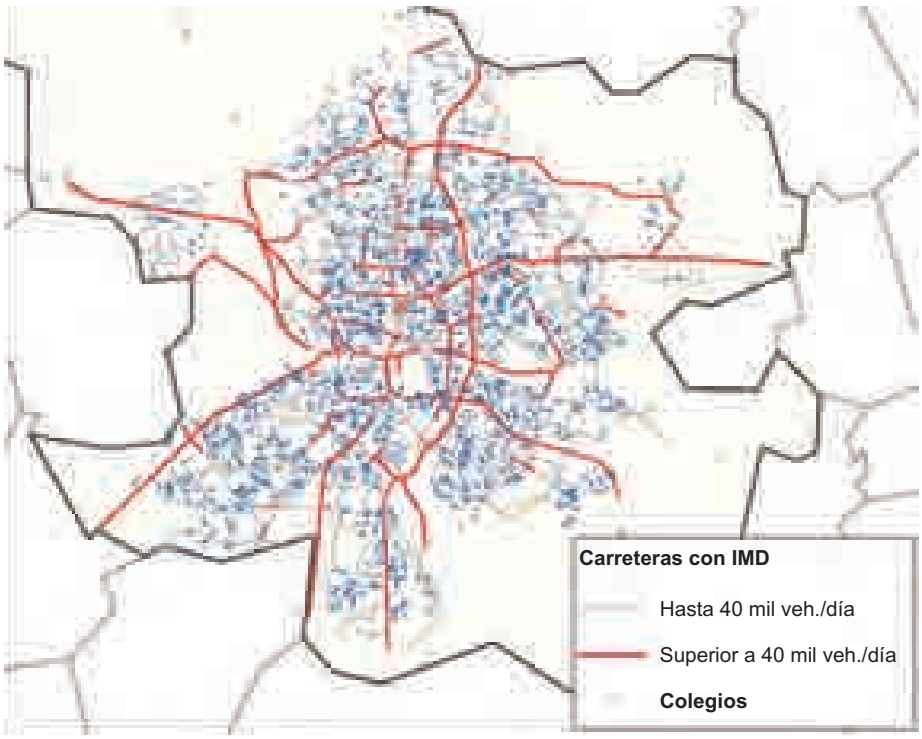
Los incrementos en los niveles de ozono se han asociado con hospitalizaciones por causas respiratorias y asma (Tolbert et al, 2000) y absentismo escolar por enfermedades del tracto respiratorio (Gilliand et al, 2001).

La influencia de los niveles de calidad del aire sobre la salud de los escolares por la cercanía de los colegios a las vías de comunicación con IMD > de 10.000 veh/día, supone una amenaza para su salud, como se ha manifestado en este capítulo. Esta fotografía de la situación en la que se encuentran los escolares madrileños, no es la peor, den la capital existe un importante numero de colegios y escuelas infantiles próximas a viales con una IMD cuatro veces superior a la aquí analizada (40.000 vehículos/día) (Mapa 4.4.10).

En la ciudad de Madrid se encuentran 259 colegios a una distancia inferior a 150m de un vial con una IMD ≥ 40.000 vehículos/día y 834 a menos de 400 m, afectando a 78.387 escolares (un 14%) y 284031 escolares (50% del total) respectivamente (Mapa 4.4.11).

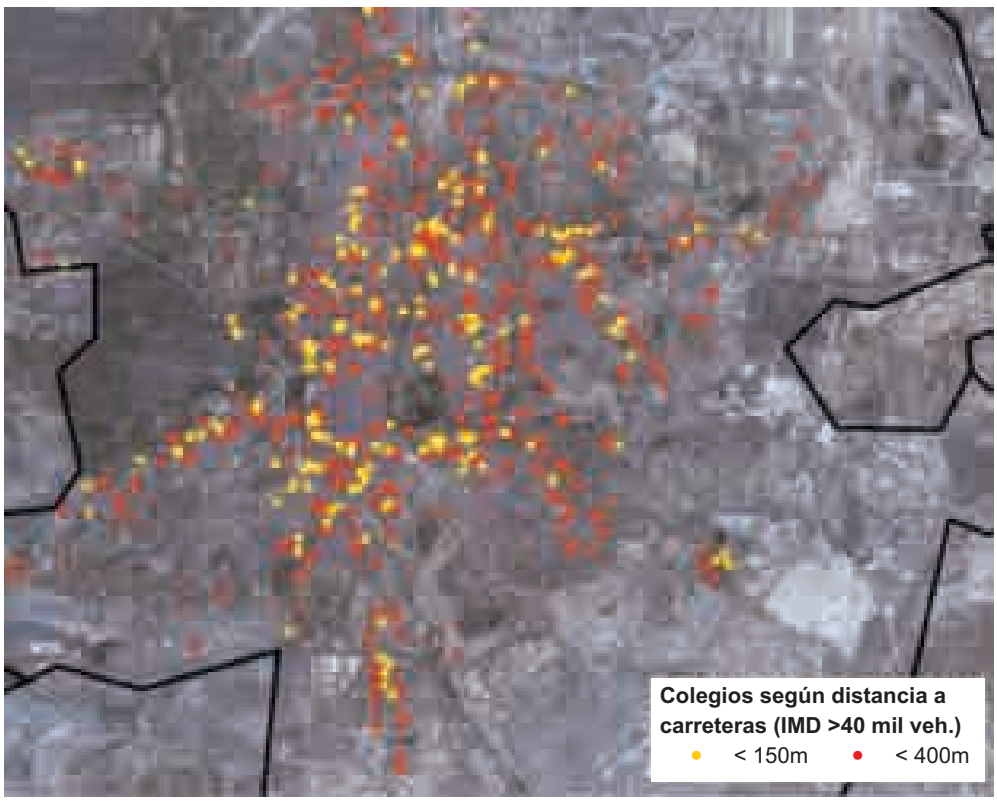
Respecto a los centros educativos que imparten educación infantil, un total de 170 centros (el 49%) se encuentran a menos de 150 metros de estas vias con alta intensidad de tráfico, afectando a un total de 15.845 alumnos (el 12% del total) y 566 escuelas infantiles (el 49%) se ubican a menos de 400 metros de distancia afectando a 59.325 escolares (46%) en esta etapa educativa.

MAPA 4.4.10. Carreteras municipales con IMD superior a los 40 mil vehículos diarios.



Fuente: Elaboración OSE a partir de datos de la CAM, Ayuntamiento de Madrid e IGN-IDEE.

MAPA 4.4.11. Centros educativos de la ciudad de Madrid a una distancia menor de 150 metros y 400 metros de vías de comunicación con una IMD>40.000 veh./dia.



Fuente: Elaboración OSE a partir de datos de la CAM, Ayuntamiento de Madrid e IGN-IDEE.

Los resultados mostrados en este apartado ponen de manifiesto la importancia de desarrollar medidas concretas que a corto plazo, disminuyan el impacto de la cercanía de los centros educativos a las vías de comunicación con alta intensidad de tráfico, principalmente los que se encuentran en mayor situación de riesgo para la salud infantil, y a largo plazo la integración en la planificación urbanística de criterios de ubicación de centros educativos teniendo en cuenta la exposición de los escolares de los niveles de contaminación atmosférica perjudiciales para su salud.

4.5. Las evaluaciones de impacto en salud, ¿Herramienta o Estrategia?

La Calidad del aire y por tanto su impacto en la salud, es el resultado en su mayor parte de políticas no sanitarias, por tanto mejorar la calidad del aire requiere de un trabajo intersectorial desde la Salud pública. En este sentido, y en el marco de la Cumbre de Río+20, la OMS afirmó estar trabajando en los vínculos entre salud y desarrollo sostenible y volvió a insistir en las Evaluaciones de Impacto en Salud, como una herramienta clave para incorporar la salud en el marco del desarrollo sostenible. La Evaluación de Impacto en Salud (EIS) es una herramienta diseñada por la OMS en el año 2000, que permite cuantificar a través de una función dosis-respuesta, el efecto que la exposición a un contamínate tiene en la salud, así como estimar la carga de mortalidad y morbilidad atribuibles a los distintos escenarios.

Entre las ventajas con las que cuenta la EIS se encuentran que permite tomar decisiones sustentadas en evidencias, se puede incorporar a las estructuras administrativas existentes, se trata de una aproximación win-win ya que permite tener en cuenta a todos los agentes sociales claves en la toma de decisiones, tal y como recomienda *Health in all Policies*, y por último facilita incorporar en los procesos de toma de decisiones valores como la salud, la democracia, la equidad y el desarrollo sostenible. En la actualidad reto no está tanto en reconocer sus bondades como en implementarla. En el marco del XII Congreso internacional de Evaluación de Impacto en Salud, celebrado de Quebec (2012) en el que participaron 42 países, se expusieron distintas experiencias desarrolladas en países como Holanda, Reino Unido, Nueva Zelanda, Canadá, Australia y Tailandia en donde se expuso la EIS como una estrategia capaz de integrar la salud en la formulación de todas las políticas públicas.

Introducir las EIS en la Estrategia de la salud en Todas las Políticas (SeTP) implica además de generar conocimiento gestionarlo, dar un paso más hacia la acción efectiva en los procesos de toma de decisiones. En el desarrollo de este proceso ya son muchos los países que están trabajando.

En Canadá, la EIS está implementada desde el año 2001, ya que la Ley de Salud Pública aprobada ese año la instaura como mandado legal de apoyo. En EEUU, tras observar los mediocres resultados a pesar de las enormes inversiones en sanidad, decidieron utilizar las EIS como herramienta de apoyo intersectorial a nivel local y en el marco de la agenda de prevención y promoción de la salud. En Irlanda se comienzan a incorporar las EIS como estrategias de salud a partir del año 2000, mientras que en Gales se presenta como un instrumento para abordar determinantes y desigualdades en salud, llegando a crear en el 2001 una unidad experta en EIS (WHIASU) En Tailandia la Ley nacional de Salud de 2007 menciona las EIS como un instrumento para lograr políticas públicas saludables y en la sección 11 establece el derecho de las personas a evaluar y participar en las EIS en toda nueva política.

También se hace mención a la aplicación de las Evaluaciones de Impacto Ambiental y las Evaluaciones de impacto en salud de proyectos que inciden en la calidad ambiental, los recursos naturales o la salud. En Australia meridional se introduce a partir del año 2000 creando ciertas tensiones con las EIA (evaluaciones de impacto ambiental) por considerar estas últimas que ya incluían la dimensión de la salud).

En España, la EIS es una herramienta infrautilizada, pero han sido varios los proyectos que se han desarrollado y que recogen los beneficios potenciales que supone la reducción de niveles de contaminantes como los Humos Negros (HN), las Partículas (PM_{10} y $PM_{2,5}$) y el Ozono (O_3). A continuación se exponen los principales resultados de dichas evaluaciones.

	APHEIS POBLACIÓN GENERAL	ENHIS POBLACIÓN INFANTIL	SERCA POBLACIÓN GENERAL[3]
Tipo de partículas o contaminantes	PM_{10}, HN	PM_{10}, O_3	$PM_{2,5}$
Localización	25 ciudades europeas, cinco de ellas españolas (Barcelona, Bilbao, Madrid, Sevilla y Valencia)	37 ciudades europeas (a las 25 ciudades anteriores se sumaron 11)	Península Ibérica

A continuación (Tabla 4.5.1) se detallan los beneficios potenciales que suponen la reducción de niveles de contaminantes (Humos Negros, PM_{10}, $PM_{2,5}$, Ozono, y NO_2) analizados por cada uno de estos programas.

Los Humos Negros se consideran una buena aproximación a la contaminación atmosférica debida al tráfico. Apheis midió HN en 16 ciudades que afectaban a un total de 24 millones de personas, reducir los niveles de HN hasta alcanzar un valor medio para las 24h de 20 µg/m³ supondría prevenir anualmente un total de 1296 muertes anuales (405 de origen cardiopulmonar y 109 por razones respiratorias). Para las PM_{10} se tomaron medidas en 23 ciudades, en donde residían 36 millones de personas, una reducción de los niveles de partículas a niveles inferiores a 20 µg/m³ supondría evitar a corto plazo 2580 muertes prematuras (1.741 por problemas cardiovasculares y 429 por problemas respiratorios), el impacto que supondría esta reducción se duplicaría cuando se habla de una exposición de hasta 40 días (a medio plazo), el número de muertes prevenibles ascendencia hasta 5.340 de las que 3.458 serian provocadas por patologías de tipo cardiovascular y 1348 de tipo respiratorio. El impacto a largo plazo sería aún mayor, llegando a las 21.388 muertes las que podrían evitarse. En cuanto a las $PM_{2,5}$, este mismo escenario (reducción hasta niveles inferiores a 20 µg/m³) a largo plazo supondría evitar un total de 16.926 muertes (11.612 por problemas cardiovasculares y 1.901 por problemas respiratorios). Este escenario supondría reducir la carga de mortalidad total por HN un 0,7% por PM_{10} un 0,9%, (un 1,8% a medio plazo y un 7,2% a largo plazo) y por $PM_{2,5}$ en un 4% del total de la carga de mortalidad.

TABLA 4.5.1. Estimaciones de Apheis 3 sobre los beneficios potenciales de los distintos escenarios de reducción de niveles de exposición a contaminantes en términos de reducción de muertes prematuras.

Indicador de contaminación atmosférica		Escenarios HN	Corto plazo (1-2 días)		A medio plazo (hasta 40 días)		A largo plazo (> 40 días)	
			Nº Muertes	Nº Muertes/ 100.000 año	Nº Muertes	Nº Muertes/ 100.000 año	Nº Muertes	Nº Muertes/ 100.000 año
Humos negros	Todas las causas de mortalidad	< 50 µg/m³ < 20 en 5	572	2				
			1296	5				
			557	2				
	Mortalidad cardiovascular	< 50 µg/m³ < 20 en 5	188	1				
			405	2				
			142	1				
	Mortalidad respiratoria	< 50 µg/m³ < 20 en 5	47	0,2				
			109	0,4				
			61	0,2				
PM_{10}	Todas las causas de mortalidad	< 50 µg/m³ < 20 en 5	559	2	1150	3		
			2580	7	5240	15		
			868	2	1739	5		
	Mortalidad cardiovascular	< 50 µg/m³ < 20 en 5	412	1	877	2		
			1741	5	3458	10		
			527	2	897	2		
	Mortalidad respiratoria	< 50 µg/m³ < 20 en 5	87	0,2	288	1		
			429	1	1348	4		
			162	0,5	489	1		
$PM_{2,5}$	Todas las causas de mortalidad	< 50 µg/m³ < 20 en 5					11375	32
							16926	47
							6355	18
	Mortalidad cardiovascular	< 50 µg/m³ < 20 en 5					8053	22
							11612	32
							4199	12
	Mortalidad respiratoria	< 50 µg/m³ < 20 en 5					1296	4
							1901	5
							743	2

Fuente: café CBA: Baseline Analysis 2000-2020.

El programa Enhis, desarrolla la misma metodología que Apheis-3 para calcular los beneficios potenciales generados por la reducción de PM_{10} y O_3 entre la población infantil, tanto en términos de mortalidad como de morbilidad. Siguiendo con la presentación de resultados para el escenario utilizado más arriba (niveles inferiores a 20 µg/m³), de PM_{10} supondría un descenso medio de 14,6 muertes post-neonatales por cada 100.000 niños (5,8 serían por causas respiratorias y 3,3 por muerte subida del lactante) un descenso del 2% de ingresos hospitalarios, una disminución del 7% de casos de toses y síntomas de vías respiratorios (Tabla 4.5.2 y Tabla 4.5.3).

En cuanto al Ozono, una reducción de 10 µg/m³ en el máximo horario diario en verano supondría evitar 1,28 muertes postnatales/100000 (0,75/100.000 serian mortalidad cardiovascular y 0,39/100.000 respiratorias). Entre la población de 15 a 65 años el número de admisiones hospitalarias se reducirían en un 0,1% y entre los mayores de 65 años en un 0,5%, y las visitas a emergencias por asma entre menores de 18 años se reduciría en un 1,14% (Tabla 4.5.4).

TABLA 4.5.2. Beneficios potenciales de la reducción de los niveles de PM_{10} en ciudades europeas (proyecto Enhis), Números absolutos y tasas de mortalidad (por 100.000 niños).

Mortalidad postneonatal	Reducción de PM_{10} Niveles medios anuales	Nº de casos atribuibles anuales	IC 95%		Tasas anuales por 100.000	IC 95%	
Total	En 5 µg/m³	23.2	10.7	36.0	4.73	2.18	7.34
	A 20 µg/m³	55.6	24.9	88.9	14.64	6.57	23.40
	A 40 µg/m³	15.3	6.9	24.3	18.07	8.14	28.75
Respiratoria	En 5 µg/m³	4.7	2.3	7.2	1.40	0.68	2.15
	A 20 µg/m³	13.1	5.3	24.8	5.83	2.36	10.99
	A 40 µg/m³	6.7	2.9	11.6	11.42	4.92	19.95
Síndrome de muerte súbita del lactante	En 5 µg/m³	6.7	3.9	9.4	1.77	1.04	2.48
	A 20 µg/m³	9.3	5.4	13.3	3.29	1.90	4.72
	A 40 µg/m³	0.7	0.4	1.1	1.68	0.95	2.45

Fuente: Programa Enhis.

TABLA 4.5.3. Beneficios potenciales de la reducción de los niveles de PM_{10} en ciudades europeas (proyecto Enhis), Fracciones atribuibles e Intervalos de Confianza (IC) al 95%.

Morbilidad	Reducción de PM_{10} Niveles diarios	Fracción atribuible (%)	IC 95%	
Tos 5-17 años	En 5 µg/m³	2.0%	1.0%	2.5%
	A 20 µg/m³	7.0%	3.6%	8.6%
	A 40 µg/m³	3.7%	1.9%	4.5%
SVRB 5-17 años	En 5 µg/m³	2.0%	1.0%	2.9%
	A 20 µg/m³	7.0%	3.6%	10.1%
	A 40 µg/m³	3,7%	1.9%	5.3%
Ingresos hospitalarios de causas respiratorias en menores de 15 años	En 5 µg/m³	0,5%	0.0%	1.0%
	A 20 µg/m³	1.8%	0.0%	3.8%
	A 40 µg/m³	1.0%	0.0%	2.0%

Fuente: Programa Enhis.

El proyecto Sistema de Evaluación de Riesgos por Contaminación Atmosférica en la Península Ibérica (SERCA), financiado por el Ministerio de Medio Ambiente en el marco del Plan I+D+i (2008-

2011) cuyo objetivo fue desarrollar, evaluar y aplicar un sistema de modelización que permitiese determinar los niveles de concentración y depósito atendiendo a las condiciones particulares españolas y desarrollando módulos específicos para evaluar el impacto de estos en la salud y los ecosistemas. Se trata del primer proyecto que en la Península Ibérica que intenta evaluar los beneficios potenciales derivados por la reducción de $PM_{2,5}$ en la península.

TABLA 4.5.4. Beneficios potenciales de la reducción de los niveles de ozono diarios, fracciones atribuibles e intervalos de confianza (IC) al 95%.

Mortalidad	Reducción de Ozono. Máximo horario diario	Fracción atribuible (%)	IC 95%
Episodios de urgencias por asma en menores de 18 años	En 10 µg/m³	1.14%	0.67%
			1.60%
	A 180 µg/m³	0.04%	0.02%
			0.06%
	Máximo 8h diarias		
Ingresos hospitalarios respiratorios (15-64 años)	En 10 µg/m³	0.10%	0.00%
			1.19%
	A 120 µg/m³	0.02%	0.00%
			0.20%
Ingresos hospitalarios respiratorios mayores de 64 años	En 10 µg/m³	0.50%	0.00%
			1.19%
	A 120 µg/m³	0.08%	0.00%
			0.20%

Fuente: Programa Enhis

TABLA 4.5.5. Beneficios potenciales por la reducción de niveles de $PM_{2,5}$ en la Península Ibérica en términos de muertes atribuibles y tasas por 100.000 habitantes.

Indicador Exposición	Indicador de salud	Población en riesgo (rangos de edad)	Nª total de muertos	Nª de muertes evitables (percentil 50)	Rango de muertes evitables (percentil 5-95)	Nª de muertes evitables por 100.000
$PM_{2,5}$ a largo plazo	Todas las causas de mortalidad	27.327.894 (30-99 años)	355761 (*)	1720	673-2760	6
		27.581.475 (25-74 años)	155951(*)	1450	780-2108	5

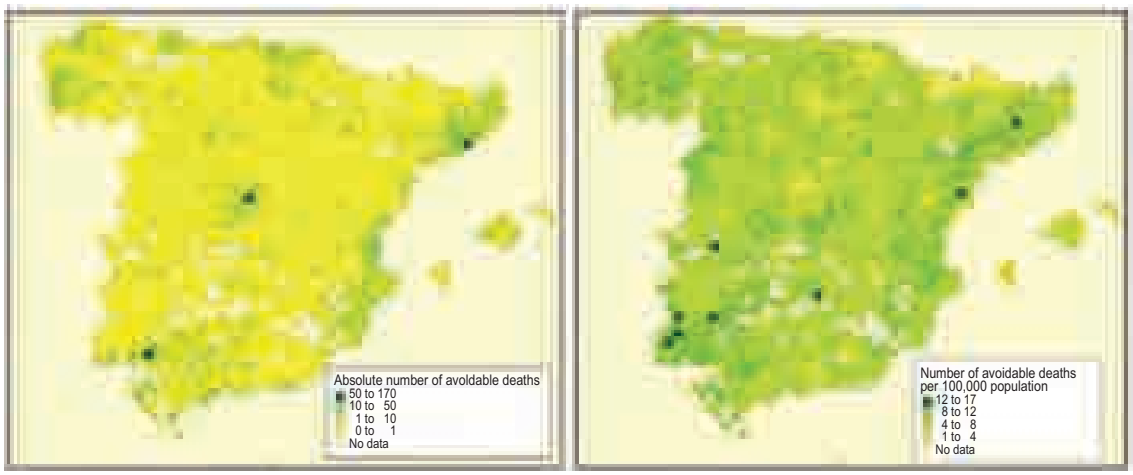
(*) Calculados a partir de los estimadores de riesgo relativo (FCR) de Pope *et al.* y Laden *et al.* respectivamente.

Las estimaciones parten de un escenario de control propuesto que implicaría una mejora generalizada de los valores de concentración medios anuales de $PM_{2,5}$ (hasta 4µg/m³). La tabla 4.6 resume el impacto en salud que sería atribuible a la reducción de $PM_{2,5}$ en términos de número absoluto de muertes evitables a largo plazo y tasas crudas por cada 100.000 habitantes. De acuerdo con el riesgo propuesto por Pope *et al*. (2002) se estimó que una media de 1.720 muertes podrían evitarse (con un intervalo de confianza de 673-2760) en la población mayor de 30 años (27.327.894 personas en 2004). Esta cifra se correspondería con una tasa bruta de muertes de 6/100.000 habitantes y una reducción de un 0,5% el número total de muertes de esta población.

Resultados similares se obtuvieron utilizando los estimadores de riesgo relativo de Laden *et al* 2006, una media de 1450 muertes podrían evitarse (con un intervalo de confianza de 780 a 2.108) en la población que se encuentra en la franja de edad que va de los 25 a los 74 años (27.581.510 en 2004) con una tasa cruda de 5 muertes evitables por cada 100.000 habitantes, esta cifra representaría un 1,25% del número total de muertes en esta franja de edad. La mayor reducción de niveles de

$PM_{2,5}$ se observan en torno a ciudades como Madrid, Barcelona o Valencia, que son las principales emisoras de estas partículas debido a su alta densidad de tráfico. También se señala una reducción de emisiones en el arco mediterráneo y en la zona este de Andalucía, que los investigadores atribuyen a una reducción de emisiones locales en los sectores industriales. Y los beneficios potenciales serán mayores entre la población de mayor edad (SERCA, 2012).

MAPA 4.5.12. Número de muertes evitables por exposición a largo plazo a $PM_{2,5}$ en España. En un escenario de reducción de los niveles de $PM_{2,5}$. Año base 2004 y año de control 2011. a) Número absoluto de muertes evitables anuales, b) Tasa bruta de muertes evitables/100.000 habitantes.



Fuente: E. Boldo *et al.* / Health impact assessment of a reduction in ambient $PM_{2,5}$ level in Spain. Enviroment International 37(2001) 342-348.
(*) Siguiendo a Pope *et al,* 2006 para la franja de edad de los 30 a los 99 años.

Del resultado de estos estudios se puede concluir que cualquier tipo de intervención encaminada a la reducción de tiempos de exposición y niveles de contaminantes tiene un efecto positivo en la salud de la población. Las EIS a pesar de proporcionar información relevante tanto para el campo sanitario como para otros campos, y mostrar la eficiencia y eficacia de las medidas encaminadas a mejorar la calidad del aire, en España sigue siendo una herramienta infravalorada y está lejos de reconocerse como una estrategia eficaz para la integración de la salud en las distintas políticas publicas.

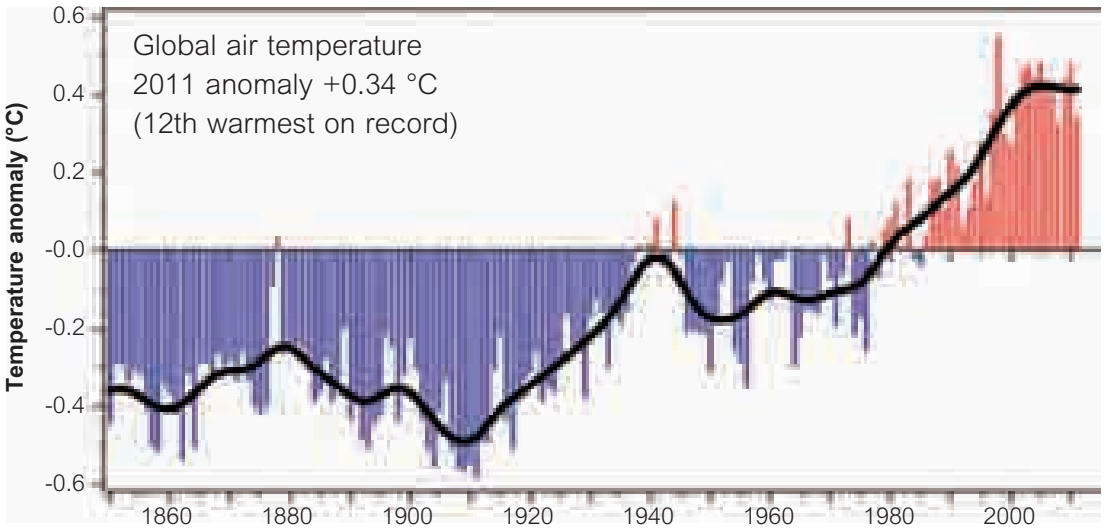
El momento político actual (de crisis que obliga a hacer más con menos, que requiere que cada política publica sea evaluada en términos de rigurosidad y eficacia) puede resultar el idóneo para promover la EIS como estrategia capaz de incorporar la Salud en todas las políticas públicas, y así dar el paso de la generación del conocimiento a su gestión.

4.6. Incidencia del Cambio Climático en la contaminación atmosférica

En los últimos años se ha alcanzado un consenso científico acerca de que las emisiones a la atmósfera de gases con efecto invernadero por actividades humanas están causando un calentamiento de la superficie de la Tierra, así como otros cambios en diversos factores meteorológicos. Según recoge el IV Informe del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) la temperatura de la Tierra ha aumentado 0,74ºC [Intervalo de incertidumbre del 90%: 0,56-0,92] en el periodo 1906-2005 (IPCC, 2007). Además se tiene constancia de que este aumento no ha sido lineal, ya que se ha observado en los últimos 50 años que dicho incremento es el doble que en la primera mitad del siglo XX como recogen los datos de la Unidad de Investigación sobre el Clima de la Universidad de East Anglia, en el Reino Unido –ver **Figura 4.6.1**. La predicción del IPCC para el promedio mundial del calentamiento en superficie y del aumento del nivel del mar al final del siglo XXI respecto al final del siglo XX es de un aumento de la temperatura

entre 1,8 y 4ºC dependiendo del escenario de emisiones a lo largo del siglo XXI. Un número importante de científicos opina que si la temperatura mundial se incrementa más de 2ºC la temperatura en la época preindustrial los daños serán irreversibles y muy considerables y esta consideración se recogió en los acuerdos de Copenhague de 2009 (United Nations, Copenhagen Accord. 2009 *FCCC/CP/2009/L.7*). Sin embargo, este objetivo parece casi imposible de alcanzar al considerar la acumulación de las emisiones recientes y actuales (Anderson, K. *et al* 2011). Para la Región Europea las proyecciones actuales estiman que la temperatura puede aumentar entre 1 y 5,5° C al final de este siglo (EEA, 2008).

FIGURA 4.6.1. Anomalía térmica de la temperatura global del aire durante el último siglo y medio.



Fuente: Jones & Palutikof 2012 (CRU, University of East Anglia, East Anglia, UK).

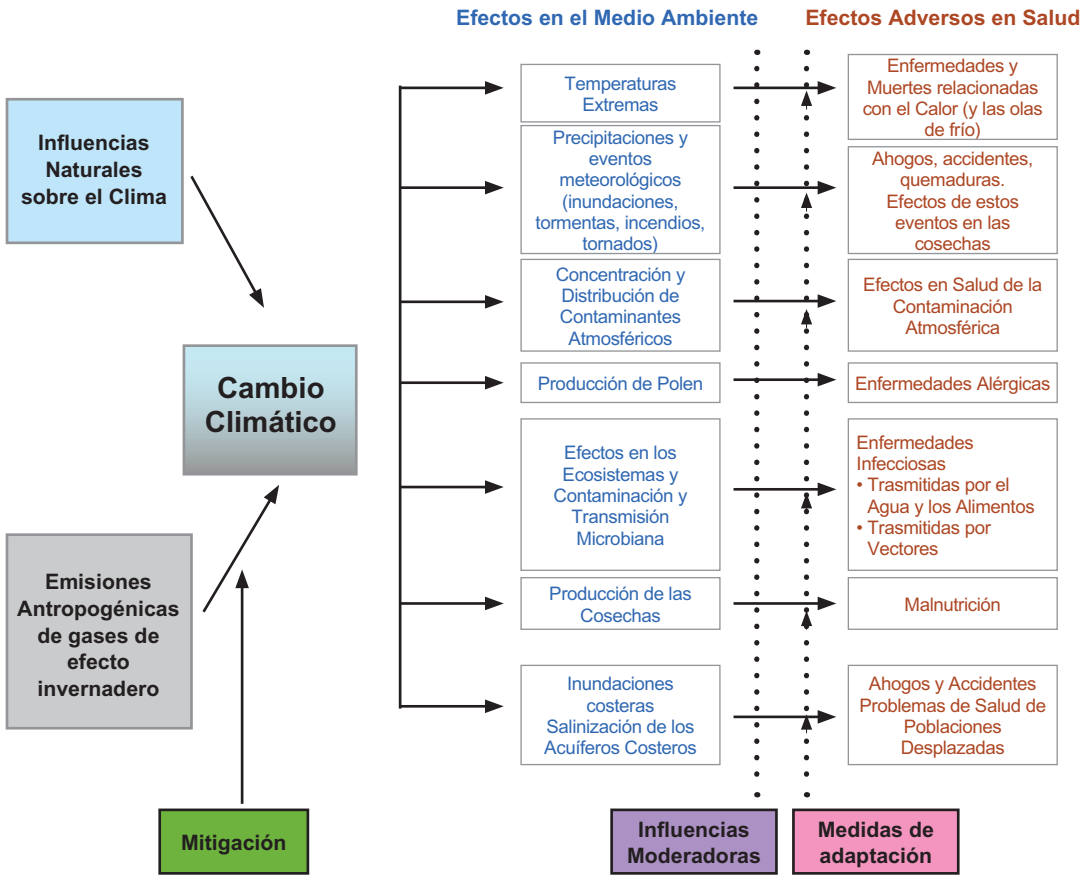
En España, a instancias del Ministerio de Medio Ambiente, un numeroso grupo de investigadores elaboró a mediados de la pasada década, un informe sobre los impactos previsibles del cambio climático (Moreno, J.M. *et al*. 2005). En él se recoge que para la Península Ibérica se prevé un incremento térmico uniforme a lo largo del siglo XXI, con una tendencia media de aumento de 0,4ºC por década en invierno y de 0,7ºC por década en verano para el escenario menos favorable. Las consecuencias de los cambios en la región mediterránea de Europa (que incluye la mayor parte de España) se traducirán en descenso en la precipitación anual y en el caudal de los ríos, más incendios forestales, menores cosechas, aumento de la demanda de agua para la agricultura, mayor riesgo de desertificación y pérdida de biodiversidad. Las pérdidas económicas y el riesgo para la salud son innegables. Además dicho impacto será distinto para los distintos países y grupos de población afectando en mayor medida a aquellos más débiles, con menos recursos y con menos sistemas de protección.

4.6.1. Efectos del Cambio Climático sobre la Salud

Desde la aparición del 3er Informe del IPCC en 2001 (IPCC, 2001) y sobre todo desde una serie de episodios y catástrofes que han tenido lugar en los últimos años, como la ola de calor de 2003 en Europa, los posibles efectos del cambio climático, y en concreto su impacto en salud ha merecido mucha atención. Ya en su informe sobre la salud mundial de 2002, la OMS estimaba que el calentamiento y las variaciones en las precipitaciones debidas al cambio climático podrían ser los causantes de más de 150.000 defunciones prematuras (WHO, 2002). En la actualidad se estima que el impacto del cambio climático en la salud puede llegar a ser de tal importancia que un artículo reciente del Informe del Instituto para la Salud Global publicado en la revista Lancet lo ha descrito como la mayor amenaza para la salud de la población (Costello, A. *et al*. 2009).

El cambio climático afecta, o puede afectar, la salud de la población por diferentes vías de diferente complejidad, escala y tiempo de aparición (McMichael, A.J. *et al*. 2003.) –ver Figura 4.5.2–. Entre los efectos que los cambios del clima pueden producir en la población se encuentran los siguientes: a) Mortalidad y enfermedades debidas a temperaturas extremas; b) Efectos en salud de eventos meteorológicos e inundaciones; c) Enfermedades debidas a contaminación atmosférica; d) Enfermedades respiratorias y alérgicas por pólenes y esporas; e) Enfermedades trasmitidas por vectores; f) Enfermedades infecciosas trasmitidas por el agua y por los alimentos.

FIGURA 4.6.2. Principales vías por las que el cambio climático puede afectar la salud de la población.



Fuente: Adaptado de McMichael *et al*. 2003.

En países más desarrollados, como es el caso de España, los efectos más importantes pueden derivarse, principalmente, de los efectos de las temperaturas extremas y la contaminación atmosférica sobre las enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Así, el informe sobre los impactos

previsibles del cambio climático en España, incluyó un capítulo de salud en el que se recogían los principales efectos que se pueden esperar del cambio climático (Díaz, J. *et al*, 2005), algunos que ya se han podido detectar como la ola de calor del verano de 2003, en el que se estima que más de 6000 defunciones prematuras podrían ser atribuidas a las altas temperaturas (Martínez, F. *et al*. 2004). Además de las conocidas olas de calor, se ha observado en diversas ciudades españolas que la exposición a altas y bajas temperaturas causan un importante impacto en salud (Iñiguez, C. *et al*. 2010). En este estudio, enmarcado en el proyecto multicéntrico EMECAS, se examinó la forma de la asociación entre la temperatura y mortalidad en 13 ciudades españolas que representan un amplio rango de condiciones climáticas y sociodemográficas. La mayoría de las ciudades mostraron una relación temperatura-mortalidad en forma de V, siendo, en general, mayor el efecto del calor que del frío. En dicho estudio se encontró que la mortalidad por causas cardiovasculares y respiratorias asociada al frío se incrementaba más que para el conjunto de las defunciones. Por otro lado, el efecto del calor sobre la mortalidad fue mayor en la población anciana que para el conjunto de la población[7].

4.6.2. Incidencia del Cambio Climático en la contaminación atmosférica

A lo largo de este informe se han presentado resultados de estudios que muestran como la contaminación atmosférica representa un riesgo ambiental importante, con consecuencias perjudiciales para la salud, que pueden llegar a ser muy graves. Las emisiones a la atmósfera relacionadas con el cambio climático pueden agravar los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de los ciudadanos, no solo directamente por el impacto en los fenómenos meteorológicos, sino, de manera inmediata, por los efectos directos de los contaminantes sobre la salud. En el "Informe Cambio Global. España 2020/50 se incluye un capítulo sobre Meteorología, Clima y Cambio Climático" (Martí Boscà JV, dir., 2012) del que resumimos los aspectos más relevantes para el presente informe.

Los contaminantes atmosféricos de los que se dispone de pruebas más claras respecto a su impacto en salud y que podrían tener mayor significación en un escenario de cambio climático son las partículas en suspensión y el ozono. La predicción del posible impacto de la contaminación atmosférica asociada al cambio climático sobre la salud está sometida a muchas incertidumbres. Entre ellas se encuentran los distintos escenarios de emisiones para el futuro, la sensibilidad y vulnerabilidad de las poblaciones y la posible interacción entre distintos fenómenos, como la temperatura y los niveles de ozono.

La correlación observada entre los niveles de ozono troposférico y la temperatura en las zonas contaminadas apunta a un efecto perjudicial del calentamiento en las concentraciones de ozono. Jacob y Winner, utilizando modelos integrados, obtienen resultados que indican que el cambio climático incrementará la concentración de ozono entre 2 y 20 µg/m^3 en las próximas décadas (Jacob, D.J. & Winner, D.A. 2009). Los resultados de este estudio apuntan que el máximo efecto se dará en las grandes áreas metropolitanas y durante episodios de contaminación por estancamiento del aire. Los resultados de un estudio en Alemania confirman las predicciones anteriores: las concentraciones horarias máximas de ozono se incrementaran de 4 a 12 µg/m^3 (6 al 10%) entre 1990 y 2030 (Forkel, R. & Knoche, R. 2006). Los estudios sobre la influencia del cambio climático sobre otros contaminantes son más escasos. Los pocos resultados existentes sobre partículas en suspensión varían según las zonas

[7] Para los lectores interesados en el impacto del cambio climático sobre la salud de la población, con especial referencia a sus implicaciones en España, se pueden consultar las siguientes publicaciones:

- Díaz, J., Ballester, F., López-Vélez, R. "Impactos sobre la salud humana". En: Moreno, J.M. *Evaluación de los Impactos del Cambio Climático en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2005.
- Ballester, F., Díaz, J., Moreno, J.M. *Cambio climático y salud pública: escenarios después de la entrada en vigor del Protocolo de Kioto*. Gac Sanit. 2006;20 (Supl. 1):160-74.
- Tirado, C. *Cambio Climático y Salud*. Informe SESPAS, 2010. Gac Sanit.2010; 24(Supl.1) :78-84.
- Martí Boscà, J.V. (dir.) y cols. *Cambio global España 2020/20502. Cambio Climático y Salud*. Centro Complutense de Estudios e Información Medioambiental de la Universidad Complutense de Madrid, Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS) y Sociedad Española de Sanidad Ambiental (SESA). Madrid, 2012. Disponible on line en: www.istas.ccoo.es y en: www.sanidadambiental.com

Por otro lado, recientemente, el Gobierno de España ha creado el Observatorio de Salud y Cambio Climático para la evaluación y seguimiento de los efectos del cambio climático en la salud pública y en el Sistema Nacional de Salud. Para los objetivos del Observatorio de Salud y Cambio Climático es crucial la disponibilidad de estudios que evalúen las consecuencias para la salud según los distintos escenarios de cambio climático en un contexto europeo, así como contar con instrumentos consensuados que sirvan de apoyo a las políticas coordinadas de mitigación y adaptación. Página web del Observatorio de Salud y Cambio Climático: http://www.oscc.gob.es/es/general/home_es.htm

a estudio y las previsiones para el futuro son inciertas, con resultados contradictorios en los pocos estudios realizados hasta la fecha (Kinney, P.L. 2008).

Otro aspecto que se ha valorado ha sido el posible impacto de los incendios forestales. Los ascensos de la temperatura podrían relacionarse con un incremento del riesgo de incendios y la consiguiente liberación de partículas en suspensión y otros contaminantes al aire. Sin embargo, en el ámbito de un país concreto, el cambio climático puede también comportar una disminución de las masas boscosas y, por tanto, una disminución de las zonas con mayor riesgo de incendio. Los impactos sobre la calidad del aire de los posibles futuros incendios relacionados con el cambio climático no han sido aún debidamente evaluados (Kinney, 2008).

Por otro lado, las emisiones de las plantas de generación de energía se incrementan de manera notable durante las olas de calor, cuando los sistemas de aire acondicionado se utilizan de manera generalizada. Estudios en California han demostrado que las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) de las plantas generadoras de energía se multiplicaban por dos cuando la temperatura pasaba de 24ºC a 35 ºC (Drechsler, D.M., 2006).

Hasta ahora, solo en un número limitado de estudios se han realizado estimaciones de los posibles impactos de la contaminación atmosférica sobre la salud teniendo en cuenta escenarios de cambios en el clima. Knowlton, K. y cols. (2004) estimaron los incrementos absolutos y porcentuales de las muertes diarias relacionadas con el ozono durante el verano en la región metropolitana de la ciudad de Nueva York para el año 2050 en comparación con los años 1990. La mortalidad relacionada con el ozono como resultado del cambio climático se incrementaría alrededor del 4,5%. Por su parte, Bell y cols. (2007) ampliaron el análisis a 50 ciudades del Este de los EEUU y examinaron tanto la mortalidad como los ingresos a hospitales. La predicción fue de un incremento de 9,6 $\mu g/m^3$ (4,8 ppb, incremento porcentual de 7,4%) para el promedio de las concentraciones máximas diarias de 8 horas de ozono (ozono-8 horas) para los años 2050. Además, los días de alerta del de ozono-8 horas (valores por encima de 210 $\mu g/m^3$) podrían incrementarse en un 68%. Estos cambios darían como resultado un incremento del 0,11% al 0,27% sobre la mortalidad total no accidental y a un incremento promedio del 0,31% de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares[8]. Según las estimaciones de estos autores los ingresos respiratorios aumentarían entre un 0,8% y un 2,1%, correspondiente este mayor aumento a los ingresos hospitalarios por asma.

En otro estudio en 19 áreas urbanas del Sudeste de EEUU, Chang H. y Zhou J. (2010) realizaron modelos para predecir los niveles de ozono en la década 2040-2050. Posteriormente, los autores utilizaron esos datos para calcular, ajustando por temperatura, humedad y estacionalidad, el riesgo relativo asociado a la exposición de ozono en verano. Se predijo un incremento de 0,86 $\mu g/m^3$ en los promedios de ozono en 2040 comparados con los de 2020. Este incremento se correspondería con un aumento de 0,01% en la tasa de mortalidad atribuible al incremento futuro de los niveles de ozono.

En el ámbito europeo, dentro del programa “Aire limpio para Europa” (CAFE) se han realizado predicciones, por países y para el conjunto de la Unión Europea (UE), a partir de las emisiones previstas en distintos escenarios climáticos o energéticos, en los que si se llevan a cabo las estrategias planteadas habrá una reducción de los niveles de partículas y de ozono. Así si se cumplen los objetivos planteados en España la reducción de los niveles de partículas finas ($PM_{2,5}$) se traduciría en un aumento de la esperanza de vida de casi dos meses de vida para el 2020. Para la población europea la mejora en la esperanza de vida sería de algo más de 3 meses. En el caso del ozono, la reducción de ozono debida a las emisiones se traduciría en unas 60 defunciones prematuras menos al año causadas por ozono en España y unas 5.500 para el conjunto de la UE. Sin embargo, especialmente en el caso del ozono, se debería tener en cuenta el posible aumento de sus niveles debido al aumento de temperatura relacionado con el cambio climático.

En el estudio de Anderson y cols. para el Reino Unido (2001) los resultados para partículas fueron en el mismo sentido que los del grupo CAFE, es decir, cierta reducción en el impacto de las $PM_{2,5}$ sobre la mortalidad. Sin embargo, en el caso del ozono los autores, incluso teniendo en cuenta los cambios en las emisiones de especies precursoras de ozono de Europa, estimaron un incremento de unas 1200 defunciones prematuras al año debidas a ozono. Es decir, unos resultados en sentido con-

[8] Es importante hacer notar que el trabajo de Knowlton, K. y cols. realiza las estimaciones del impacto del incremento del ozono debido al cambio climático respecto al impacto actual del ozono sobre mortalidad, mientras que el trabajo de Bell, M. y cols. expresa dicho impacto sobre el total de la mortalidad.

trario a la reducción de 400 defunciones prematuras anuales que se predecía en el programa CAFE. Cuando los autores consideraron que existía un umbral a partir del cual apareció el efecto del ozono sobre la salud, el impacto sobre la salud debido al ozono era relativamente pequeño. En definitiva, las estimaciones muestran una gran variabilidad, siendo a veces, incluso contradictorias, como se ve en las estimaciones del impacto del ozono referidas al Reino Unido.

Por su parte, Casimiro y Calheiros (2002) llevaron a cabo una estimación del posible impacto que los distintos escenarios de cambio climático tendrían sobre la salud de los portugueses. En su estudio, en el que llevan a cabo una evaluación cualitativa, los autores concluyen que el incremento previsto de los niveles de ozono troposférico podría contribuir a la exacerbación del asma y de otras enfermedades respiratorias. En un trabajo más reciente Daniela Dias y cols. han evaluado los posibles efectos del clima en las concentraciones de PM_{10} y su impacto a corto plazo sobre la mortalidad en Portugal. Sus resultados indican a un incremento del 8% en la mortalidad prematura debida a exposición a PM_{10} y resaltan la importancia de los efectos indirectos del cambio climático sobre la salud (Dias, D., *et cols* 2012).

A escala mundial, West y cols., en un escenario de continuación en el aumento de las emisiones, estimaron que ocurrirían aproximadamente 500.000 muertes prematuras en exceso para el año 2030 debido a los impactos de las concentraciones de ozono y al crecimiento de la población (West, J.J., Szopa, S., Hauglustaine, D.A., 2007). Si se siguiera la legislación aprobada para controlar los precursores de ozono, se calculó que se podrían evitar 191.000 muertes globalmente (0,2% del número total de muertes previsto para 2030). Más aún, los resultados del estudio indicaron que se evitarían 458.000 muertes (0,5% del número total de muertes previsto para 2030), especialmente en el Sudeste de Asia, si se utilizaran todas las tecnologías y esfuerzos para el control de emisiones. Los análisis de sensibilidad demostraron que los resultados se veían afectados significativamente por el umbral supuesto y por el riesgo relativo de mortalidad diaria aguda por ozono que se utilizara.

Por último, un estudio internacional publicado recientemente ha evaluado los beneficios en calidad del aire y en salud de 14 medidas de control de emisiones de metano (un precursor del ozono) y de carbono negro –un componente importante de las partículas finas o $PM_{2,5}$– en el ámbito global (Anenberg, S.C. *et al*. 2012). Los resultados obtenidos indican que el seguimiento completo de dichas medidas podría reducir los niveles de $PM_{2.5}$ y de ozono, respectivamente, en un 23-34% y 7-17% y conseguir posponer entre 0,6-4,4 y 0,04-0,52 millones de defunciones prematuras anuales en todo el mundo para el año 2030. Casi el 98% de dicha reducción sería debida a la disminución de las emisiones de carbono negro y el 80% de los beneficios se conseguirían en Asia y en África. Como se puede comprobar las estimaciones para la reducción de mortalidad por ozono están en consonancia con el trabajo de West *et al.* (2007). Estos beneficios serían independientes de los beneficios derivados de la reducción de CO_2. Por otro lado podrían incluso subestimar los beneficios totales de la reducción de emisiones de partículas debido a que no contemplan la contaminación en el interior de los edificios (White-Newsome, J.L. *et al*. 2012).

En definitiva, existe cierto consenso en considerar que el cambio climático tiene el potencial de incrementar las exposiciones a concentraciones elevadas de ozono y otros contaminantes como las partículas finas debido a cambios en los patrones climáticos. En general, existe acuerdo en esperar que las concentraciones medias de ozono constituyen el problema más importante del impacto en salud de la contaminación atmosférica asociada al cambio climático. No obstante, existe una gran incertidumbre respecto a las proyecciones futuras. Entre las fuentes de la incertidumbre se incluyen no sólo el cambio climático futuro sino también las emisiones futuras de gases invernadero, precursores de ozono y otros contaminantes, así como el modo en que la vulnerabilidad y los patrones de actividad de la población pueden diferir en el futuro. En el contexto europeo, como consecuencia de las políticas energéticas de reducción de emisiones es previsible una reducción de los niveles de partículas.

Cabe esperar controles más estrictos de las emisiones de precursores de ozono, partículas finas y otros contaminantes a medida que crezca la evidencia de los impactos adversos de estos contaminantes ambientales sobre la salud. Por lo tanto, la medida en la que el cambio climático afecte la calidad del ambiente dependerá de manera importante del control de las normativas y las acciones de reducción de emisiones sobre los niveles de ozono y las partículas.

4.7. Particularidad de la Contaminación atmosférica en España: Influencia de las intrusiones del Polvo Sahariano

La situación geográfica de la Península Ibérica, muy próxima al continente africano, y especialmente algunas regiones de España como las Islas Canarias, a escasos centenares de kilómetros del desierto de Sahara hace que las intrusiones de polvo sahariano deban considerarse en el ámbito del estudio de la contaminación atmosférica en nuestras ciudades. Primero desde el punto del incremento de los niveles de partículas materiales (PM) y, más tarde, por las posibles repercusiones en la salud de los ciudadanos.

Para la determinación de los días con intrusiones de polvo sahariano se utiliza la información suministrada por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente[9], que utiliza un método de análisis de retrotrayectorias (modelo Hysplit). También se utiliza la información de los mapas de polvo NRL SKIRON y BSCDREAM , así como las imágines de satélite de NASA SeaWiFS.

La advección de polvo procedente del Sahara es un fenómeno relativamente frecuente en nuestro país. Así, estudios realizados para las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife durante el periodo 2000-2004 (López, E. *et al.* 2008), establecen la frecuencia de estas intrusiones del polvo del Sahara en un 11,5% y un 15,5%, respectivamente. Para el caso de la ciudad de Madrid un estudio realizado en el periodo 2003-2005 muestra que estas advecciones se producen un 20% de los días, siendo más frecuentes durante el periodo cálido (junio-septiembre) con un 28,4 % de los días y menos frecuentes durante la estación fría (enero-marzo) con un 11,3% de los días (Díaz, J., Tobías, A., Linares, C. 2012). Para el caso de la ciudad de Barcelona los datos registrados en el periodo 2003-2007 indican que estas intrusiones se producen el 8,1 % de los días (Pérez, L., *et al.* Environ Int. In Press).

Las advecciones de polvo del Sahara suponen un aumento en las concentraciones de las PM, fundamentalmente un incremento en las concentraciones de las partículas de diámetro inferior a 10 micras PM_{10} y en la denominada fracción gruesa $PM_{10-2,5}$, es decir, partículas con diámetro entre 2,5 y 10 micras, siendo menor el incremento que se observa en las partículas de diámetro inferior a 2,5 micras $PM_{2,5}$ (Querol, X. *et al*. 2009). Así para el caso de Gran Canaria, por ejemplo, las concentraciones medias diarias de PM_{10} multiplicaron por 3,7 su valor, pasando de de 28,6 µg/m^3 en periodos no episódicos a 105,7 µg/m^3 en días con intrusión, mientras que las $PM_{2,5}$ se multiplicaron por 3,1, pasando de 13,4 a 41,4 µg/m^3 de media diaria (López, E., *et al*. 2008). Los valores medidos en Madrid aunque se incrementaron durante los periodos de intrusión, este aumento fue menos importante que el registrado para las ciudades Canarias, así los valores medios diarios de PM_{10} se multiplicaron por 1,5 pasando de 31,4 µg/m^3 los días sin intrusión hasta un 47,7 µg/m^3 los días con intrusión, mientras que las $PM_{2,5}$ se multiplicaron por 1,3 pasando de 17,9µ g/m^3 a 24,3 µg/m^3 de media diaria (Tobías, A. *et al*, 2011). Para la ciudad de Barcelona, en el periodo marzo 2003 a diciembre 2004, las $PM_{2,5}$ pasaron de 29,9 µg/m^3 con intrusión a 24,0 µg/m^3 sin intrusión (Pérez, L., *et al*. 2008), es decir, se incrementaron un 18%. Estos datos expresan, lógicamente, que a medida que se aleja el lugar de medida del foco de emisión, en este caso el desierto del Sahara, la cantidad de PM que llegan es menor.

Es evidente que estas elevaciones en las concentraciones de las PM hace que el cumplimiento de la normativa de la UE se vea claramente comprometida los días en los que existe intrusión de polvo sahariano, ya que se superan en mayor proporción el nivel de 50 µg/m^3 de media diaria para las concentraciones de PM_{10} que establece la UE (*Official Journal of the European Union*, 2008) llegándose a alcanzar picos medios diarios de hasta 612 µg/m^3 en Gran Canaria y 622 µg/m^3 en Tenerife, para el caso de la ciudad de Madrid, los valores alcanzados son mucho menores que los anteriormente citados, pero igualmente suponen un incumplimiento de la normativa, ya que en la ciudad de Madrid, durante el periodo analizado se llegó a una media diaria máxima de 150 µg/m^3 (Díaz, J. *et al*. 2012).

Pero no sólo cambia las concentraciones en la atmósfera del tamaño de las partículas, si no que un estudio realizado en Barcelona identifica que cambia la composición química de las partículas presentes en el aire (Pérez, L, *et al*. 2008). E incluso en otros trabajos se evidencia que este polvo del desierto transporta material biológico perjudicial para la salud (Griffin, D.W., 2007). Evidentemente estas dos circunstancias de cambio en las concentraciones de las PM y modificaciones en su composición química hacen que los días con intrusión de polvo del desierto se observan patrones en la

[9] Disponible on line http://www.calima.ws

morbi-mortalidad claramente diferenciados con respecto a los días en los que no existen intrusiones. De este modo se ha observado que las intrusiones de polvo del desierto producen exacerbaciones de enfermedades respiratorias, especialmente del asma en niños (Samoli, E., *et al*. 2011)

En general, en nuestro país, son relativamente escasos los estudios que analizan el impacto sobre la salud de las invasiones de polvo sahariano, centrándose éstos trabajos en Barcelona y Madrid. Así, para el caso de Barcelona, una investigación reciente relaciona las intrusiones de polvo del Sahara con el aumento de los casos de enfermedad meningocócica[10] en 4 semanas después de una intrusión de polvo sahariano (Tobías, A., *et al*. 2001), si bien los mecanismos biológicos de esta asociación no están claramente establecidos. También se ha analizado si las intrusiones de polvo del Sahara se relacionaban con complicaciones en el embarazo, pero no se han llegado a asociaciones concluyentes en este sentido (Dadvand, P. *et al*. 2011). En relación a la mortalidad diaria, otro trabajo realizado en esta ciudad (Pérez, L. *et al*., 2008) refiere un aumento de la mortalidad en los días con intrusiones de polvo sahariano frente a los que no se da ésta circunstancia, relacionándolo con la fracción gruesa $PM_{10-2,5}$ y no detectándose asociación estadística entre mortalidad y $PM_{2,5.}$ En esta misma línea, pero en relación a mortalidad diaria por diferentes causas específicas y varios tamaños de PM es destacable la investigación llevada a cabo por Pérez *et al* (Pérez, L., *et al.* Environ Int. In Press), en ella se detecta un efecto diferenciado sobre la mortalidad por diferentes patologías según el tamaño de las partículas y la existencia o no de intrusiones de polvo del Sahara. Así los días sin advecciones de polvo sahariano se encontró una asociación estadísticamente significativa entre las partículas de tamaño inferior a 1 micra (PM_1) y para la fracción gruesa $PM_{10-2,5}$ con la mortalidad por causas cardiovasculares, mientras que los días con intrusiones de polvo del Sahara se detectó una asociación estadística más fuerte entre la $PM_{2,5-1}$ y la mortalidad por causas circulatorias y respiratorias, siendo el efecto doble para los días con intrusión que para aquellos sin intrusión.

Para el caso de la ciudad de Madrid existen diversos trabajos realizados en los dos últimos años sobre este tema. Así un estudio realizado sobre la mortalidad diaria por todas las causas los días con y sin intrusión muestra un comportamiento diferenciado con respecto a la mortalidad. Así los días con intrusiones de polvo sahariano la mortalidad asociada a las PM_{10} es mayor que en los que no se dan intrusiones (Tobías, A., *et al*. 2011).

Si se estratifica por estaciones y por causas específicas de mortalidad las PM_{10} se asocian con una mayor mortalidad por causas respiratorias si la intrusión se produce en la estación fría frente a si no hay advección de polvo del Sahara y es mayor la mortalidad por causas circulatorias durante la estación cálida en los días con intrusión frente a los días intrusión (Díaz, J. *et al*. 2012). También se encuentra un mayor incremento de la mortalidad total asociada a la fracción gruesa $PM_{10-2,5}$ los días con intrusión frente a los días sin intrusión (Díaz, J. *et al*. 2012)

Otros trabajos realizados en Madrid tanto para población general como para mayores de 65 años (Jiménez, E. *et al*, 2010) indican que si bien los días sin intrusiones de polvo del Sahara son las $PM_{2,5}$, con su principal origen en el tráfico rodado, las que muestran una mayor asociación con la mortalidad diaria, durante los días con intrusión de polvo sahariano esta asociación pasa a tener una mayor significancia estadística para las PM_{10} o $PM_{10-2,5}$. Este comportamiento detectado en la mortalidad también se ha evidenciado en el patrón de los ingresos hospitalarios por urgencias. Así un estudio realizado en las urgencias del hospital Gregorio Marañón de Madrid muestra que los días con intrusiones de polvo Sahariano existe un aumento del riesgo en los ingresos por causas respiratorias relacionados con PM_{10} ó $PM_{10-2,5}$ mientras que en los días sin intrusiones son las $PM_{2,5}$ las que se relacionan con los ingresos tanto por causas circulatorias como respiratorias (Reyes, M., Linares, C, Tobías, A., Díaz, J. *In Press*).

Por último en relación a los estudios realizados sobre la influencia del polvo sahariano sobre la salud en las Islas Canarias se tiene constancia de una investigación llevada a cabo sobre las urgencias en Santa Cruz de Tenerife (García, J., *et al.* 2001). Los resultados indican que la presencia de polvo sahariano en suspensión condiciona un aumento de la demanda asistencial urgente por patología respiratoria, trastornos de ansiedad y dolores torácicos atípicos.

[10] Se trata de una enfermedad infecciosa producida por el meningococo, suele aparecer en forma de casos aislados, pero también puede dar brotes (dos o más casos relacionados), especialmente en guarderías o parvularios. El meningococo habita en la faringe y puede provocar una infección que sólo afecte al sistema nervioso: la llamamos meningitis o bien una infección generalizada en todo el cuerpo (Agencia de Salud Pública de Barcelona).

Es evidente que la entrada de polvo procedente del Sahara en nuestro país produce un incremento en los niveles de las PM en la atmósfera, lo que trae como resultado que sea de más difícil cumplimiento los niveles marcados por las directivas europeas. Por otro lado este hecho, junto con el cambio de la composición de las PM presentes en la atmósfera trae consigo una modificación en el patrón de morbi-mortalidad asociado a los niveles de PM en el aire. La relativa frecuencia con que estas intrusiones se dan en la atmósfera de las ciudades españolas y su presumible incremento como consecuencia de la desertificación atribuida al cambio climático (Moreno, J.M., 2006), hace que su consideración y análisis sea de especial interés en nuestras latitudes.

5. Estrategias integradas para la mejora de la calidad del aire, la salud y la sostenibilidad

5.1. El principio de precaución como elemento principal de la política de salud y medio ambiente

En la articulación de estrategias y normativa de calidad del aire, cobra especial relevancia el principio de precaución. En calidad del aire, nos encontramos en numerosas ocasiones con problemas para demostrar la causalidad de los efectos con las fuentes. Por ello la aplicación de este principio resulta tan importante ya que su uso supone que aunque los datos científicos no permitan una determinación completa del riesgo permite reaccionar rápidamente ante un posible peligro para la salud humana, animal o vegetal, o para proteger el medio ambiente.

No se puede esperar a tener certezas absolutas, no se puede producir una parálisis de acción producto de un incesante análisis: La aplicación del enfoque cautelar o precautorio recomienda actuar antes de que existan las pruebas irrefutables del daño, especialmente si se trata de perjuicios para la salud o irreversibles.

El proceso de aplicación del principio de precaución debe ser transparente, democrático y con obligación de informar, y debe incluir a todas las partes potencialmente afectadas. También debe involucrar un examen de la gama completa de alternativas, incluyendo la no acción.

El principio de precaución se formuló por vez primera en la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano celebrada en Estocolmo en 1972; fue aplicado internacionalmente por vez primera en la Primera Conferencia Internacional sobre la Protección del Mar del Norte en 1984, y en la Convención de Viena sobre la protección de la capa de ozono en 1985; y ha sido recogido como uno de los principios rectores claves de la política ambiental de la Unión Europea y de sus Estados miembros.

El principio de precaución se menciona en el artículo 191 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (UE). Pretende garantizar un elevado nivel de protección del medio ambiente mediante tomas de decisión preventivas en caso de riesgo.

Según la Unión Europea, puede invocarse el principio de precaución cuando un fenómeno, un producto o un proceso puede tener efectos potencialmente peligrosos identificados por una evaluación científica y objetiva, si dicha evaluación no permite determinar el riesgo con suficiente certeza. En este mismo sentido, la Comisión Europea expone que el principio de precaución solo se puede invocar en la hipótesis de un riesgo potencial, y que en ningún caso puede justificar una toma de decisión arbitraria tanto en el marco general del análisis de riesgo, como en marco de la gestión del riesgo y de su comunicación.

Allí donde existan amenazas de daños graves e irreversibles, la falta de certeza científica completa no debe usarse como razón para atenuar los controles o postergar las medidas que impidan la degradación de la salud y el medio ambiente, sino que por el contrario se impone una actitud de vigilante y prudente anticipación que identifique y descarte de entrada las vías que podrían llevar a desenlaces catastróficos.

El principio de precaución, responde a la idea de "buen gobierno", gestión que se adelanta criteriosamente a los hechos, la que ante la duda de que una actividad pueda ser peligrosa es preferible eliminarla o al menos limitarla. De esta forma, las autoridades encargadas de la gestión del riesgo pueden decidir actuar o no actuar en función del nivel de riesgo, pudiendo adoptar medidas jurídicas, de la financiación de programas de investigación, medidas de información al público, etc.

En virtud de al aplicación de este principio en el ámbito de la contaminación atmosférica se puede destacar la Estrategia temática sobre la contaminación atmosférica de la UE y la Estrategia temática sobre la contaminación atmosférica de España. Junto a estas, son de destacar las acciones que desde el ámbito autonómico y local se están realizando y que se detallan a continuación.

5.2. Política Europea en materia de calidad del aire

El aire es un bien común indispensable para la vida y está sujeto a normas que garanticen una calidad mínima necesaria para el desarrollo normal de los seres vivos. La contaminación atmosférica es una de las principales preocupaciones ambientales de los ciudadanos. El deterioro de la calidad del aire urbano está directamente relacionado con nuestros modelos de producción y consumo, en general, y urbanización y movilidad, en particular.

Como se ha visto en los análisis elaborados en los capítulos 3 y 4, un alto porcentaje de la población sigue expuesta a niveles de contaminación que comportan serios riesgos para la salud, además de importantes costes económicos y ambientales. El origen de este problema se encuentra, principalmente, en las emisiones procedentes del sector transporte, industrias y calefacciones, siendo el tráfico de automóviles el principal responsable de la contaminación atmosférica en las grandes ciudades.

En materia de calidad del aire el marco normativo y estratégico de referencia a escala europea lo constituye la legislación europea donde se fijan los valores límite y objetivo de calidad del aire y que son aplicables a los países miembros (Ver apartado 2.5). Y a nivel internacional, las guías de calidad del aire publicadas por la OMS con los objetivos intermedios para el material particulado (PM_{10}, $PM_{2,5}$), el ozono (O_3) y el dióxido de nitrógeno (NO_2).

- Las dos directivas europeas actualmente en vigor son la **Directiva europea 2004/107/CE** relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente, en su momento traspuesta por el RD 812/2007; y la **Directiva europea 2008/50/CE** relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa que sustituye a las Directivas 96/62/CE, 1999/30/CE, 2000/69/CE y 2002/3/CE, en su momento transpuestas al derecho español mediante los Reales Decretos 1073/2002 y 1796/2003.
  Estas dos directivas están incorporadas en la actualidad al derecho español por medio del RD 102/2011 que establece, entre otras, medidas destinadas a definir y establecer objetivos de calidad del aire ambiente para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto. Se fijan una serie de objetivos de calidad del aire para cada uno de los contaminantes regulados, de manera que si se superan las administraciones competentes tienen que adoptar planes de actuación para reducir los niveles de dichos contaminantes y cumplir así con sus objetivos. Con respecto a los planes, independientemente de los que adopten las comunidades autónomas y las entidades locales, la Administración General del Estado puede elaborar Planes nacionales de mejora de la calidad del aire para aquellos contaminantes en que se observe comportamientos similares en cuanto a fuentes, dispersión y niveles en varias zonas o aglomeraciones.
- El Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (hoy en día Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) publicó en 2011, actualmente en revisión, el **Plan Nacional de Mejora de Calidad del Aire**. El Plan se basa fundamentalmente en dos líneas de actuación que pasan por el cumplimiento de los valores límite de PM_{10} y NO_2 y la reducción simultanea de precursores de ozono. El objetivo principal del Plan es lograr el cumplimiento de los valores límite en 2015 y mantener o mejorar los niveles en el resto, abordando una serie de sectores, como el tráfico/movilidad, la construcción/demolición o la actividad en puertos y aeropuertos, para los que plantea medidas que consigan una reducción de las emisiones de los principales contaminantes descritos y, en consecuencia, una mejora de la calidad del aire.

- **Guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS)**. Tienen por objeto ofrecer orientación sobre la manera de reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud. Estas guías, publicadas por primera vez en 1987, se basan en la evaluación por expertos de las pruebas científicas. La guía de Calidad del aire revisada de 2005, la OMS establece como directriz de NO_2, 40 µg/m^3, media anual, como directriz de PM_{10}, 20 µg/m^3, media anual y como directriz de O_3, 100 µg/m^3, media de ocho horas.

Hay que atender a la naturaleza compleja del impacto atmosférico y entender las distintas interrelaciones de las fuentes contaminantes y los efectos sobre la salud, los ecosistemas, los materiales y el patrimonio, articulando una amplia gama de instrumentos. La gestión de la calidad del aire debe ser integrada en otras políticas ambientales, de salud y sectoriales: como urbanismo y gestión del territorio, energía y transporte.

Por ello hay que atender especialmente a los elementos de planificación y de participación corresponsable con un enfoque integrado, integrador y cooperativo. La integración del fenómeno de la contaminación y calidad del aire en las planificaciones de las políticas sectoriales y, en especial, en la planificación urbana y la ordenación del territorio, son fundamentales para la conservación del ambiente atmosférico y un desarrollo urbano sostenible.

La contaminación atmosférica no respeta fronteras, por ello, más allá de las actuaciones municipales hay que potenciar la máxima cooperación interadministrativa en aras de la eficacia, la eficiencia y la responsabilidad compartida. Además, con esa perspectiva "integral" una planificación desde la perspectiva de la sostenibilidad debe orientarse con una visión global.

Es absolutamente necesaria la integración y coordinación de los diferentes ámbitos temáticos (calidad del aire, salud pública, etc.) y administrativos (gobierno central, autonomías, ayuntamientos) para el establecimiento de un Sistema de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica y sus posibles efectos sobre la salud. Las políticas que se generen, han de ser políticas transversales, intra-intersectoriales y sobre todo coherentes capaces de fomentar la cooperación y la participación de los distintos agentes implicados.

5.3. Estrategias de actuación en materia de calidad del aire

5.3.1. Estrategia temática sobre la contaminación atmosférica de la UE

La Unión Europea fija objetivos de reducción de determinados contaminantes y refuerza el marco legislativo de lucha contra la contaminación atmosférica en función de dos ejes principales: la mejora de la legislación comunitaria en materia de medio ambiente y la integración en las políticas conexas de las preocupaciones relacionadas con la calidad del aire.

La estrategia es el resultado de las investigaciones efectuadas en el marco del programa «Aire puro para Europa» (*Clean Air For Europe* - CAFE) y de los programas marco de investigación sucesivos y fue adoptada tras un largo proceso de consulta en el que participaron, en particular, el Parlamento Europeo, organizaciones no gubernamentales, la industria y los particulares

La estrategia sobre la contaminación atmosférica es una de las siete estrategias temáticas previstas por el sexto programa de acción en materia de medio ambiente adoptado en el año 2002. Es la primera de esas estrategias adoptada formalmente por la Comisión con el objetivo básico de que los niveles de calidad del aire que no den lugar a riesgos o efectos negativos significativos en la salud humana y el medio ambiente.

La Estrategia temática sobre la contaminación atmosférica de la UE define objetivos en materia de salud y medio ambiente, así como objetivos de reducción de las emisiones para los principales contaminantes.

Con respecto a la situación del año 2000, la estrategia determina objetivos concretos a largo plazo (2020):

- reducción en un 47% de la pérdida de esperanza de vida por la exposición a las partículas;
- reducción en un 10% de los casos de mortalidad aguda provocados por el ozono;

- disminución de los excesos de depósitos ácidos en un 74% y en un 39%, respectivamente, en las zonas forestales y en las superficies de agua dulce;
- reducción en un 43% de las zonas en las que los ecosistemas están sujetos a eutrofización.

La realización de estos objetivos supone reducir las emisiones de SO_2 en un 82%, de NO_x en un 60%, de los compuestos orgánicos volátiles (COV) en un 51%, del amoniaco en un 27% y de las $PM_{2,5}$ primarias (las partículas que se emiten directamente en el aire) en un 59% con respecto a los niveles del año 2000.

La aplicación de la estrategia en lo que se refiere a la salud, supone un ahorro de 42.000 millones de euros al año y una reducción del número de muertes prematuras de 370.000 (año 2000) a 230.000 (frente a 293 000 en el año 2020 si no se aplicara la estrategia).

Uno de los elementos esenciales de la estrategia es la simplificación legislativa. Es importante señalar la especificación que se hace en la estrategia en relación con las partículas finas ($PM_{2,5}$), fijando un valor umbral de 25g/m³ y un objetivo de reducción de un 20%, que deberá alcanzarse entre los años 2010 y 2020.

Por otro lado, en el ámbito industrial, la estrategia prevé la posibilidad de ampliar la Directiva IPPC y la Directiva sobre la eficiencia energética de los edificios a las pequeñas instalaciones de combustión. También prevé reducir las emisiones de COV en las gasolineras.

En el ámbito del transporte, la estrategia prevé nuevas propuestas sobre la reducción de las emisiones procedentes de turismos, furgonetas nuevas y camiones, además de procedimientos de homologación de vehículos.

En lo que se refiere al sector de la agricultura, la estrategia anima a fomentar medidas para reducir la utilización de nitrógeno en la alimentación animal y los abonos.

5.3.2. Estrategia española sobre la contaminación atmosférica

La Estrategia Española de Calidad del Aire presenta el objetivo básico de satisfacer los objetivos de calidad comunitarios y posibilitar que España cumpla los techos nacionales de emisión y los Protocolos del Convenio de Ginebra sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia.

La estrategia está formada por un conjunto de iniciativas que a imagen de la estrategia europea contempla la modernización y actualización del marco jurídico, el diseño de planes específicos y mejora de fuentes de información e instrumentos de gestión y mecanismos de colaboración e iniciativas para potenciar la investigación.

La Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, inspirada en los principios y enfoques que definen y orientan la política ambiental y de protección de la atmósfera en la UE, es el eje central de la estrategia dotando a España de un nuevo marco normativo acorde con las exigencias del ordenamiento jurídico y administrativo vigente en España.

La estrategia contempla medidas en materia de energía, transporte, agricultura, fiscalidad, urbanismo y planificación territorial y sector residencial, institucional y comercial tanto en materia de gestión como de control de la calidad del aire y reducción de emisiones.

En materia de control, la estrategia se centra en la implantación del Sistema de Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera, el fortalecimiento de la elaboración de proyecciones de emisión a la atmósfera de contaminantes en España y la integración, en los sistemas de alertas sanitarias y vigilancia del Ministerio de Sanidad y Consumo, de la información relativa a la superación de los umbrales de riesgos para la salud.

Respecto a los planes y programas, el Plan Nacional Español de Reducción de Emisiones de las Grandes Instalaciones de Combustión (octubre 2007) estableció como objetivo el cumplimiento de los compromisos de reducción del 81% de las emisiones de SO_2, del 15% de NO_x y del 65% de partículas entre el 2008 y 2015 y partículas procedentes de Grandes Instalaciones de Combustión.

Por otro lado para el cumplimiento de los Techos Nacionales de Emisión estipulados por la UE, en 2003 se aprobó un Programa Nacional para la Reducción Progresiva de las Emisiones de SO_2, NO_x, COV y NH_3. Este programa, fue actualizado y revisado en el año 2008. La aprobación del II Programa Nacional de Reducción de Emisiones, desarrolla una serie de planes de acción sectoriales que se enmarcarán en el "*Plan de Acción para la aplicación del II Programa Nacional de Reducción de Emisiones conforme a la Directiva sobre Techos Nacionales de Emisión*":

- Estrategia de Movilidad Sostenible, aprobada por Consejo de Ministros el 30 de abril de 2009.
- Impulso de acuerdos voluntarios para la reducción de emisiones en el sector de la fabricación de cemento y para la recuperación de compuestos orgánicos volátiles no metálicos en las instalaciones de suministro de carburantes.
- Fomento de la aprobación del Proyecto de ley de ahorro, eficiencia energética y energías renovables.
- Control y verificación del cumplimiento del Plan Nacional de Reducción de Emisiones en Grandes Instalaciones de Combustión (PNRE-GIC).
- Fomento de la reducción de emisiones en el sector de la aviación.

La estrategia también contemplaba la implantación de estrategias complementerias como la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4), el Plan de Energías Renovables en España, los Planes Nacionales de Asignación en el contexto del cumplimiento por parte de España de sus obligaciones en el Protocolo de Kioto, la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia. Horizonte 2012 y el Reglamento Euro 5 + Euro 6 (estándares de emisión necesarios para homologar vehículos y nuevas matriculaciones).

Junto a estas medidas normativas y de planificación, también se contemplan medidas de colaboración con diversos organismos, como el Instituto de Salud Carlos III, la Red Nacional de vigilancia Epidemiológica y el Centro Nacional de Sanidad Ambiental, dentro de las cuales hay que destacar el establecimiento de líneas específicas de acción con relación a la salud y calidad del aire.

El Instituto de Salud Carlos III desarrolla la realización de estudios epidemiológicos del impacto de la contaminación del aire en la salud de los principales contaminantes atmosféricos, incluyendo los nuevos parámetros, como las partículas $PM_{2,5}$ y los asociados a la contaminación fotoquímica. También presta especial interés en los compuestos persistentes y en aquellas sustancias y preparados que a través de aire se haya demostrado, o se sospeche, que posean propiedades cancerígenas, mutagénicas y puedan afectar a la reproducción o tengan capacidad de actuar como disruptores endocrinos.

La Red Nacional de vigilancia Epidemiológica colabora para el análisis de los datos que se refieren al efecto de la contaminación del aire sobre la salud y el desarrollo, y el Centro Nacional de Sanidad Ambiental colabora para llevar a cabo procedimientos y técnicas para la detección y el análisis de biomarcadores relacionados con la contaminación del aire.

5.4. Planes de actuación

5.4.1. Plan nacional de mejora de la calidad del aire (PNMCA)

El Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, aprobado al amparo de la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, sirve de marco regulador para la elaboración de los planes y programas nacionales, autonómicos y locales para la mejora de la calidad del aire.

Independientemente de los que adopten las Comunidades Autónomas y las Entidades Locales, la Administración General del Estado elaboró el PNMCA para mejora de la calidad del aire para aquellos contaminantes para los que se observen comportamientos similares en cuanto a fuentes, dispersión y niveles en varias zonas o aglomeraciones.

El Plan Nacional de Mejora de la Calidad del Aire (PNMCA) se basa fundamentalmente en el cumplimiento de los valores límite de PM_{10} y NO_2, así como la reducción de los precursores de ozono. Presenta como objetivo general lograr el cumplimiento de los valores límite para todas las zonas en las que existan superaciones de estos dos contaminantes no más tarde de 2015.

Para ello desarrolla medidas en el sector transporte, construcción, agrícola-ganadero e industrial. Dentro de las medidas del sector del transporte se contempla la obligatoriedad de aprobar Planes de Movilidad Sostenible en aquellas zonas urbanas o aglomeraciones con superaciones reiteradas de los valores límite de PM_{10} y NO_2 y campañas de concienciación e información a la ciudadanía. En el sector de la construcción, las medidas se centran en evaluar el área potencialmente afectada por las futuras emisiones de las obras e incentivar siempre medidas preventivas respecto a correctivas. Respecto al sector agrícola-ganadero las medidas incluyen la prevención de la quema de biomasa, la minimiza-

ción de superficie de fertilizante expuesta directamente a la atmósfera y las mejoras tecnológicas para minimizar las emisiones de gases y partículas de combustión de los vehículos agrícola-ganaderos.

Por último, en cuanto al sector industrial, las medidas se dirigen fundamentalmente a la aplicación de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (Ley IPPC)[1]:

- Revisión y seguimiento de las Autorizaciones Ambientales Integradas (AAI).
- Establecer criterios de vigilancia del cumplimiento de los valores límite de emisión autorizados, con especial referencia a las emisiones difusas de partículas.
- Establecimiento de Planes de Mejora de la Calidad del Aire específicos para aquellas zonas industriales en las que se hayan producido superaciones de los límites de calidad del aire o exista riesgo de superación.
- Inventario y seguimiento de implantación de las Mejoras Tecnologías Disponibles (MTD).
- Establecer incentivos para fomentar la implantación de sistemas y procesos de mayor eficiencia en la minimización de emisiones que las MTD.

5.4.2. Planes de acción sobre la calidad del aire en el ámbito autonómico y local

Tal como se expone en la Estrategia española de Calidad del Aire, para avanzar en el cumplimiento de los objetivos de calidad del aire, las distintas administraciones, en el ámbito de sus respectivas competencias, deberán reforzar sus políticas y medidas en esta materia. En el caso de España la mayor responsabilidad recae en las CCAA al ser estas quienes ostentan las competencias.

Las Comunidades Autónomas y los Ayuntamientos han llevado a cabo la redacción de planes de mejora de la calidad del aire en sus territorios, mayoritariamente para las partículas PM_{10} y NO_x.

Igualmente, las Entidades Locales, en el ámbito de sus competencias y según lo previsto en la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, también han elaborado sus propios planes, teniendo en cuenta los desarrollados por el estado y la CCAA a la que pertenezca el municipio.

En estos planes se contemplan las medidas necesarias para garantizar que las concentraciones de los contaminantes regulados no superen los objetivos de calidad del aire y para la reducción de dichas concentraciones, así como medidas de urgencia y de comunicación a la población en caso de superación de los límites legalmente establecidos.

Todas las estrategias de forma en general, presentan objetivos cualitativos que pretenden lograr una serie de reducciones en las emisiones contaminantes y de efecto invernadero a lo largo del periodo de vigencia de la estrategia. Se persigue una reducción paulatina de las emisiones para CO_2, SO_x, NO_x y COVNM,

En cuanto a las medidas que se toman para la reducción, se pueden resumir en:

1. Medidas en el marco normativo. Suelen referirse a medidas fiscales.
2. Medidas en el marco del sector del transporte. Incluye medidas referidas tanto a infraestructuras como de movilidad urbana y de combustibles y vehículos.
3. Medidas en el marco del sector industrial. Incluye medidas en materia de ahorro y eficiencia energética, control ambiental, buenas prácticas y mejores tecnologías y residuos.
4. Medidas en el marco del sector residencial. Incluye medidas en materia de construcción sostenible, ahorro y eficiencia energética y planeamiento urbano.
5. Medidas en el marco del sector agrícola. Incluye medidas en materia forestal, de agricultura y ganadería ecológica y residuos.
6. Medidas en el marco de la prevención ambiental. Incluye medidas de control de la calidad del aire y de prevención e inspección.
7. Medidas en materia de educación ambiental. Incluye medidas de sensibilización y divulgación, acciones formativas e informativas a la población.

[1] La Ley IPPC ha sido modificada por la Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente (incorpora las Directivas 2003/4/CE y 2003/35/CE) y por la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Por otro lado, ha sido desarrollada mediante el Real Decreto 509/2007, de 20 de abril, que contempla las medidas de carácter técnico-administrativo para tramitar las Autorizaciones Ambientales Integradas de las instalaciones.

Según se expone en la *"Guía de buenas prácticas Sobre la calidad del aire"* desarrollada por la FEMP y la el análisis propio desarrollado por el OSE, los municipios en los que en la actualidad disponen de planes de mejora de la calidad del aire son lo siguientes:

TABLA 5.4.1. Municipios con planes de mejora de la calidad del aire. Año 2012.

CCAA	Provincia	Alcance del Plan	Municipios afectados
Andalucía	Almería	Local	Almería
Andalucía	Almería	Local	Cuevas de Almanzora
Andalucía	Almería	Local	El Ejido
Andalucía	Almería	Zona Industrial Carboneras (Almería)	Carboneras, Níjar
Andalucía	Cádiz	Bahía de Algeciras	Algeciras, Los Barrios, La Línea de la Concepción, San Roque
Andalucía	Cádiz	Bahía de Cádiz	Cádiz, El Puerto de Santa María, Puerto Real y San Fernando
Andalucía	Cádiz	Local	Jerez de la Frontera
Andalucía	Córdoba	Aglomeración Urbana de Córdoba	Córdoba
Andalucía	Granada	Área Metropolitana de Granada	Albolote, Alhendín, Atarfe, Armilla, Cájar, Cenes de la Vega, Churriana de la Vega, Cúllar-Vega, Las Gabias, La Zubia, Gójar, Granada, Huétor-Vega, Jun, Maracena, Monachil, Ogíjares, Otura, Peligros, Pulianas, Santa Fe y Vegas del Genil
Andalucía	Huelva	Zona industrial de Huelva	Aljaraque, Gibraleón, Huelva, Moguer, Niebla, Palos de la Frontera, Punta Umbría y San Juan del Puerto
Andalucía	Jaén	Jaén y Torredonjimeno	Jaén, Torredonjimeno
Andalucía	Jaén	Local	Villanueva del Arzobispo
Andalucía	Jaén	Local	Bailén. Aprobado por el Decreto 31/2006, de 14 de febrero, por el que se aprueba el Plan de Mejora de la Calidad del Aire en el Municipio de Bailén.
Andalucía	Málaga	Málaga y Costa del Sol	Benalmádena, Casares, Estepona, Fuengirola, Málaga, Manilva, Marbella, Mijas, Rincón de la Victoria, Torremolinos, Vélez-Málaga
Andalucía	Sevilla	Sevilla y Área Metropolitana	Albaida del Aljarafe, Alcalá de Guadaíra, La Algaba, Almensilla, Bollullos de la Mitación, Bormujos, Camas, Castilleja de Guzmán, Castilleja de la Cuesta, Coria del Río, Dos Hermanas, Espartinas, Gelves, Gines, Mairena del Aljarafe, Olivares, Palomares del Río, La Puebla del Río, Salteras, San Juan de Aznalfarache, Santiponce, Sevilla, Tomares, Umbrete, Valencina de la Concepción y Villanueva del Ariscal
Aragón	Zaragoza	Local	Zaragoza
Aragón	Teruel	Local	Alcañiz
Illes Balears	Mallorca	Local	Palma de Mallorca
Islas Canarias	Gran Canaria	Plan de actuación de calidad del aire de Jiramar (Zona central isla de Gran Canaria)	Agüimes, Arucas, Firgas, Gáldar, Ingenio, Moya, Santa Brígida, Santa Lucía, Santa María de Guía, Telde, Teror, Valsequillo, Valleseco y Vega de San Mateo
Islas Canarias	Santa Cruz de Tenerife	Plan de actuación de calidad del aire de Santa Cruz de Tenerife (Zona Santa Cruz de Tenerife – La Laguna)	Santa Cruz de Tenerife y San
Islas Canarias	Santa Cruz de Tenerife	Plan de Actuación de Candelaria (Zona sur isla de Tenerife)	Adeje, Arafo, Arico, Arona, Candelaria, Fasnia, Granadilla de Abona, Guía de Isora, Güímar, San Miguel y Vilaflor
Cantabria	Santander	Local	Los Corrales de Buelma
Cantabria	Santander	Autonómico	Plan de Calidad del Aire de Cantabria 2006-2012 Todos los municipios de Cantabria
Castilla y León	Burgos	Local	Miranda de Ebro
Castilla y León	León	La Robla	Barrios de Luna, Carrocera, Cuadros, Garrafa de Torio, Matallana de Torio, Pola de Gordón, La Robla, Soto y Amio
Castilla y León	León	Local	León

(…)

TABLA 5.4.1. Municipios con planes de mejora de la calidad del aire. Año 2012 *(cont.)*.

CCAA	Provincia	Alcance del Plan	Municipios afectados
Castilla-La Mancha	Ciudad Real	Programa de reducción de partículas en Puertollano	Puertollano
Castilla-La Mancha	Ciudad Real	Programa de reducción de dióxido de azufre en Puertollano	Puertollano
Cataluña	Barcelona	Plan de actuación para la mejora de la calidad del aire 2011-2015 provincia de Barcelona	Badalona, Badia del Vallès, Barberà del Vallès, Barcelona, Castellbisbal, Castelldefels, Cerdanyola del Vallès, Cornellà de Llobregat, Esplugues de Llobregat, Gavà, Granollers, L' Hospitalet de Llobregat, La Llagosta, Martorell, Martorelles, Molins de Rei, Mollet del Vallès, Montcada i Reixac, Montmeló, Montornès del Vallès, Pallejà, El Papiol, Parets del Vallès, El Prat de Llobregat, Ripollet, Rubí, Sabadell, Sant Adrià de Besòs, Sant Andreu de la Barca, Sant Cugat del Vallès, Sant Feliu de Llobregat, Sant Fost de Campsentelles, Sant Joan Despí, Sant Just Desvern, Sant Quirze del Vallès, Sant Vicenç dels Horts, Santa Coloma de Gramenet, Santa Perpètua de Mogola, Terrassa, Viladecans
Galicia	A Coruña	Local	Plan de Mejora de la Calidad del Aire en A Coruña
Comunidad de Madrid	Madrid	Aglomeración urbana sur	Alcorcón, Aranjuez, Arroyomolinos, Batres, Casarrebuelos, Chinchón, Ciempozuelos, Colmenar de Oreja, Cubas de la Sagra, El Álamo, Fuenlabrada, Getafe, Humanes de Madrid, Leganés, Moraleja de Enmedio, Móstoles, Navalcarnero, Parla, Pinto, San Martín de la Vega, Serranillos del Valle, Titulcia, Torrejón de la Calzada, Torrejón de Velasco, Valdemoro, Villaconejos y Villaviciosa de Odón
Comunidad de Madrid	Madrid	Corredor del Henares	Ajalvir, Alcalá de Henares. Alcobendas, Algete, Anchuelo, Arganda del Rey, Camarma de Esteruelas, Cobeña, Coslada, Daganzde Arriba, Loeches, Los Santos de la Humosa, Meco, Mejorada del Campo, Morata de Tajuña, Paracuellos del Jarama, Rivas-Vaciamadrid, San Fernandde Henares, San Sebastián de los Reyes, Torrejón de Ardoz, Torres de la Alameda, Velilla de San Antonio y Villalbilla
Comunidad de Madrid	Madrid	Autonómico	Plan Azul Comunidad de Madrid: Todos los municipios de la Comunidad de Madrid
Comunidad de Madrid	Madrid	Local	Plan de calidad del aire de la ciudad de Madrid (2011-2015)
País Vasco	Álava	Plan de Acción Barrio de Betoño en Vitoria	Vitoria-Gasteiz
País Vasco	Guipuzcoa	Plan de Acción Alto Deba	Antzuola, Bergara, Elgeta, Arrasate-Mondragón, Oñati, Aretxabaleta, Eskoriatza, Aramaio, Leintz-
País Vasco	Guipuzcoa	Plan de Acción Goierri	Altzaga, Arama, Ataun, Beasain, Gaviria, Gaintza, Idiazabal, Itsasondo, Lazkao, Legorreta, Mutiloa, Olaberria, Ordizia, Ormaiztegi, Segura, Zegama, Zerain
País Vasco	Guipuzcoa	Plan de Acción Pasaialdea	Pasajes, Lezo, Rentería
País Vasco	Guipuzcoa	Plan de Acción Tolosaldea	Abaltzisketa, Aduna, Albiztur, Alegia, Altzo, Amezketa, Anoeta, Asteasu, Baliarrain, Belauntza, Berastegi, Berrobi, Bidegoyan, Gaztelu, Elduain, Hernialde, Ibarra, Ikastegieta, Irura, Larraul, Leaburu, Lizartza, Orendain, Orexa, Tolosa, Villabona, Zizurkil
País Vasco	Guipuzcoa	Plan de Acción Urola Medi	Azkoitia, Azpeitia, Beizama, Errezil, Zestoa, Aiarnazabal
País Vasco	Vizcaya	Plan de Acción Bajo Nervión	Muskiz, AbantZierbena, Getxo, Berango, Santurtzi,, Ortuella, Portugalete, Leioa, Sestao, Trapagaran, Barakaldo, Erandio, Loiu, Derio, Sondika, Bilbao, Alonsotegi, Zamudio, Etxebarri, Lezama, Galdakao, Basauri, Zaratamo
País Vasco	Vizcaya	Plan de Acción Duranguesado	Amorebieta-Etxano, Iurreta, Durango, Garai, Izurtza, Mañaria, Berriz, Abadiño, Zaldibar, Elorrio, Atxondo
País Vasco	Vizcaya	Local	Plan de Acción Lemona Lemona
La Rioja	Logroño	Autonómico	Plan de Mejora de la Calidad del Aire en La Rioja 2010-2015: Todos los municipios de La Rioja
Comunidad Valenciana	Alicante	Plan de Mejora en l'Alacant Occidental	Agost, Alicante, San Vicente del Raspeig
Comunidad Valenciana	Castellón	Plan de Mejora en la zona cerámica de Castellón	Aín, L'Alcora, Alcudia de Veo, Almassora, Alquerías del Niño Perdido, Artana, Benicàssim, Betxí, Borriana, Borriol, Cabanes, Castelló de la Plana, Eslida, Nules, Onda, Oropesa, La Pobla Tornesa, Ribesalbes, Sant Joan de Moró, Suera, Tales, Vall d'Alba, Vilafamés, Vila-real, La Vilavella

Fuente: *"Guía de buenas prácticas Sobre la calidad del aire"* desarrollada por la FEMP, 2012.

Conscientes de que el tráfico rodado constituye la fuente principal de emisión de gases contaminantes en las zonas urbanas, la gran mayoría de las actuaciones se centran en reducir su intensidad, aumentar la eficiencia de los vehículos y utilizar medios de transporte menos contaminantes o formas de desplazamiento no mecanizadas redunda en una reducción de dichas emisiones. No obstante, junto a estas y a imagen de las estrategias europea y estatal, también se contemplan acciones en el sector de la edificación y la sensibilización.

Sin embargo, la gran mayoría de los planes adolece de un sistema de comunicación temprana y fácilmente comprensible de los valores de la contaminación para que los habitantes conozcan la calidad del aire que respiran y los efectos que puede tener sobre su salud, así como las medidas que han de adoptar para protegerse en estas situaciones.

Aún cuando la experiencia nos dice que el seguimiento y la elaboración de informes sobre el grado de aplicación de los planes no es una práctica usual, en este caso es importante señalar que la gran mayoría de estos planes fueron aprobados en el año 2011, por lo que aún puede ser pronto para que se hayan emitido informes sobre su grado de aplicación.

No obstante podemos encontrar, accesible a través de las páginas web de las consejerías de medio ambiente, informes de seguimiento y grado de cumplimiento de planes anteriores implantados en Cataluña (Informe de seguimiento de la implantación de las medidas del Plan de Actuación para la mejora de Calidas del Aire de municipios de la Región Metropolitana de Barcelona, aprobado mediante Decreto 152/2007, de 10 de julio, e Informe preliminar sobre los niveles de calidad del aire de dióxido de nitrógeno (NO_2) y de partículas en suspensión de diámetro inferior a 10 micras (PM_{10}) correspondiente del año 2010 en las zonas de calidad del aire 1 y 2) y País Vasco (Desarrollo y situación actual de los Planes de Acción de Calidad del Aire en la CAPV).

5.5. Política de salud y medio ambiente de la Unión Europea

La Unión Europea considera que los factores medioambientales son causa de un número importante de enfermedades en los países industrializados y dentro de estos, los contaminantes atmosféricos agravan o son causa de enfermedades respiratorias, alergias, intoxicación y cáncer.

Por ellos, la política de la UE en materia de salud y medio ambiente, se fundamenta en la colaboración estrecha con las administraciones y los expertos nacionales para promover entornos saludables a fin de responder a las amenazas para la salud y desarrollar un enfoque integrado en todos los países miembros de la UE.

Fruto de este enfoque, la Comisión Europea elaboró en el año 2003 la Estrategia de Salud y Medio Ambiente de la UE, centrada especialmente en los niños. Posteriormente y con el objetivo de aplicar la estrategia, en el año 2004 se aprobó el Plan de Acción Europeo de Medio Ambiente y Salud de la UE (2004-2010).

5.5.1. Estrategia en materia de medio ambiente y salud

Tiene por objeto profundizar en los conocimientos sobre la compleja interacción entre el medio ambiente y la salud integrando la información existente sobre el estado del medio ambiente, el ecosistema y la salud de las personas con objeto de encontrar relaciones de causa-efecto que ayuden a adoptar medidas que reduzcan la incidencia de los factores medioambientales en la salud de las personas. También tiene como objetivos la identificación y posible reducción de nuevas amenazas medioambientales para la salud.

La estrategia se centra especialmente en la relación de los contaminantes atmosféricos con las enfermedades respiratorias, el asma, las alergias y cánceres infantiles.

Se dedicará un esfuerzo suplementario a reducir las exposiciones a los problemas medioambientales. Este esfuerzo se concentrará, en particular, en la calidad del aire, los metales pesados, los campos electromagnéticos y un entorno urbano saludable.

5.5.2. Plan de acción de medio ambiente y salud (2004-2010)

Este plan de acción, cubre el primer ciclo de aplicación de la estrategia europea de medio ambiente y salud.

En línea con la estrategia, el plan de acción se refiere principalmente a las relaciones existentes entre los factores ambientales y las enfermedades respiratorias, los trastornos del desarrollo neurológico, el cáncer y los alteradores endocrinos.

El plan de acción se articula en torno a tres grandes ejes: mejorar la cadena de información, completar los conocimientos reforzando la investigación y revisar las políticas y mejorar la comunicación fomentando la sensibilización, la comunicación de los riesgos, la formación y la educación.

Dentro de estos tres ejes, se incluyen una serie de acciones entre las que se pueden destacar las siguientes:

- Elaborar indicadores de medio ambiente y salud.
- Aumentar la coordinación y las actividades conjuntas en materia de medio ambiente y salud.
- Centrar la investigación en las enfermedades, los trastornos y las exposiciones.
- Establecer sistemas metodológicos para analizar las interacciones entre medio ambiente y salud.
- Detectar y abordar los posibles riesgos para el medio ambiente y la salud.
- Mejorar la calidad del aire en el interior de edificios.

En el año 2007, la Comisión realizó una revisión intermedia de la aplicación del plan de acción en la que se observaron pocos avances, si bien también se consideraba que el tiempo transcurrido (3 años) era demasiado breve como para esperar una gran ejecución. No obstante una vez finalizado el primer ciclo de aplicación de la estrategia correspondiente al Plan 2004-2010, si se han producido importantes avances en desarrollo normativo general, en vehículos a motor y en emisiones industriales, además del establecimiento de valores objetivo para muchos contaminantes.

Sin embargo son discretos los avances efectuados en reducción del riesgo de enfermedades (respiratorias, cardiovasculares y cáncer), así como la conexión entre la investigación sobre enfermedades respiratorias, los procesos políticos y los sistemas de información apropiados. También se han de producir aún avances en la unificación de sistemas de información sanitaria sobre la incidencia de las enfermedades y los costes sanitarios.

6. PROPUESTAS DE ACTUACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE URBANO

La calidad del aire, como ya se ha comentado a lo largo de este informe, es uno de los principales problemas ambientales que más preocupa a la sociedad española. Son muchos los estudios que se han venido haciendo en los últimos años sobre el impacto de la contaminación atmosférica en la salud pública y en la calidad de vida de los ciudadanos. Todo ello con el objetivo de generar mayor información, concienciación y sensibilización entre la población, así como de crear una mayor coordinación y cooperación entre las distintas administraciones e instituciones.

Aunque las actuaciones y políticas llevadas a cabo por la administración, tanto en el ámbito europeo como estatal, han mejorado la calidad del aire en muchas ciudades europeas y españolas en los últimos años, todavía quedan muchos esfuerzos por realizar, ya que según la OMS no existen niveles de contaminación atmosférica que no sean perjudiciales para la salud. Además siguen existiendo ciudades con niveles de contaminación elevados y con alto riesgo para la salud, especialmente para los grupos más vulnerables como los niños, los mayores de 65 años o las mujeres embarazadas.

En la actualidad el problema principal de la calidad del aire urbano radica en el sector transporte, siendo el tráfico el principal agente contaminador en las zonas metropolitanas y responsable de las mayores emisiones de los contaminantes urbanos como NO_2, PM y precursores del O_3 troposférico. Estos contaminantes urbanos, que son los que más problemas de salud originan, en muchas ocasiones exceden los límites de inmisión marcados por la normativa europea, así como los marcados por la Organización Mundial para la Salud en muchas de las ciudades españolas, principalmente las de mayor densidad de población. Es importante señalar que los territorios más alejados también se ven afectados por la contaminación que se genera en lugares más congestionados.

Todo ello demuestra que, a pesar de todos los esfuerzos realizados, se ha de seguir trabajando para restablecer los valores de contaminación del aire a niveles inferiores a los límites marcados por la legislación y por tanto compatibles con la salud de la población. Por esta razón, en este capítulo, se pretende proponer una serie de medidas que contribuyan a seguir mejorando la calidad del aire urbano y ayudar a solucionar este serio problema de salud pública.

Las **medidas** para la mejora de la calidad del aire a aplicar pueden ser tecnológicas y no tecnológicas.

Las medidas tecnológicas van dirigidas a reducir emisiones de combustión por unidad de motor (por el momento no de abrasión, ni fugitivas del depósito de combustible) y aunque es aconsejable su aplicación (tanto para medidas con efecto a corto, como medio y largo plazo) las medidas más efectivas son siempre las no tecnológicas.

6.1. Medidas de eficiencia y reducción del transporte

El objetivo de las medidas no tecnológicas es reducir el transporte privado dentro de la ciudad, mediante:

- La mayor explotación de otros sistemas de transporte, como el público o la bicicleta.
- Incentivar los vehículos con varios pasajeros.
- Diseño de ciudades y áreas periféricas con infraestructuras de transporte adecuadas.
- Diseño de ciudades que incorpore la distribución espacial de los posibles niveles de exposición de contaminantes, para evitar solapar áreas de tráfico denso con centros de ocio, escolares, locales públicos u otros tipos de centros en los que los ciudadanos ocupen una proporción importante del día o que sean utilizadas por grupos especialmente vulnerables a la contaminación atmosférica.

En base a lo expuesto se concluye que, actualmente, las medidas más efectivas para la mejora de la calidad del aire en lo referente a NO_2, uno de los principales contaminantes urbanos, son las no tecnológicas, es decir la reducción de la densidad de circulación de vehículos en la zona urbana. Otra posibilidad es reducir marcadamente la proporción de vehículos diesel de la flota, como en Berlín, donde se ha logrado mantener el porcentaje de vehículos diesel por debajo del 35%, mientras que la mayor parte de ciudades españolas y alemanas alcanzan más del 50%. Otras ciudades como Estocolmo o Londres nunca han llegado a una proporción tan elevada de vehículos diesel.

Los planes de mejora de calidad del aire han de compatibilizar la reducción de gases de efecto invernadero (CO_2 y CH_4, principalmente) con la reducción de emisiones de contaminantes urbanos (CO, NO_x, COV, NH_3 y PM), y esto no siempre se lleva a cabo. Así por ejemplo, el incentivo de la compra de vehículos con bajas emisiones de CO_2 puede dirigir a los ciudadanos a la compra de vehículos con motores diesel, con mayores emisiones de NO_2.

Desde el ámbito local, por tanto, se deberán implantar medidas de fomento de desplazamientos no mecanizados y limitaciones al tráfico, medidas dirigidas hacia la reconversión de los actuales patrones de desplazamiento y transporte urbanos. Estas medidas suponen el establecimiento de planes de movilidad local que prevean la minimización y limitación del impacto del tráfico, consumo energético, emisiones de GEI, etc.

En este sentido una de las medidas que convendría adoptar es la redistribución del tráfico de vehículos, incluyendo una reducción (limitación) del tráfico en aquellas calles con peor calidad del aire. Esta medida podría ser de carácter permanente o aislada (únicamente aplicable en días de mala calidad del aire). En este informe hemos visto un ejemplo de lo que supondría esta medida en una zona de Pamplona (ver apartado 3.5.3) sobre la que se ha podido estimar su efectividad.

Puesto que se ha de reducir el número de vehículos privados en la ciudad, más allá de la potenciación del transporte público, se debe apostar por otros medios de movilidad alternativos como son la promoción del *carsharing* y la implantación de servicios de alquiler de vehículos.

Según se expone en el informe Cambio Global España 2020/50 programa ciudades, a fin de conseguir unas ciudades con un ambiente saludable, para el año 2050 se debería llegar a un escenario en el que el reparto modal del transporte debería tener la siguiente distribución: un 10% en coche, un 30% en transporte público y un 60% peatonal/bicicleta.

Para conseguir este objetivo, las ciudades deberán adaptar sus Planes de Ordenación Urbana a las necesidades de la movilidad sostenible siendo uno de los retos fundamentales la electrificación de las ciudades a fin de poder conseguir una sustitución eficiente de los automóviles actuales hacia vehículos eléctricos.

Además, la adaptación de los Planes de Ordenación Urbana, suponen la potenciación de las superficies verdes urbanas, especialmente las arboladas, como elementos de control de la contaminación y fomento de una vida más saludable.

Dentro de las medidas específicas contempladas en los planes de calidad del aire actualmente en vigor que se exponen en la guía de buenas prácticas sobre la calidad del aire de la FEMP, se encuentran las siguientes:

– *Generación de una Red de itinerarios peatonales.*
– *Peatonalización de calles.*
– *Creación de áreas de prioridad residencial y de restricción del tráfico de paso.*
– *Establecimiento de zonas de estacionamiento regulado.*
– *Adecuación de la velocidad de acceso al núcleo urbano.*
– *Prohibición de la circulación de tráfico pesado por el centro del núcleo urbano.*
– *Implantación de zonas de bajas emisiones.*
– *Regulación de las actividades de carga/descarga de mercancías.*
– *Prohibición de mantener el motor encendido en vehículos estacionados.*
– *Limitación del tiempo de permanencia de vehículos en el centro de la ciudad.*
– *Introducción del ecopeaje en zonas sensibles.*
– *Creación de "Zonas 30".*
– *Actuaciones en infraestructuras para el fomento el uso de la bicicleta*
– *Mejora de la cobertura del transporte público*
– *Incentivos para el uso del transporte público*
– *Dotación de infraestructuras específicas: carril bus, plataformas o calles de uso exclusivo*
– *Implantación de un sistema de Metro o metro ligero o tranvía*
– *Rediseño de las redes de autobuses*
– *Renovación de la flota de transporte público aumentando el número de vehículos impulsados por gas natural comprimido, e híbridos*
– *Fomento del uso de ciclomotores eléctricos*
– *Reducción de emisiones del parque móvil oficial*
– *Fomento de la elaboración de planes de movilidad en empresas*
– *Planes de movilidad en colegios y centros educativos*
– *Elaboración de planes de movilidad singulares*
– *Fomento del teletrabajo*

Como medidas efectivas aplicadas en ciudades europeas deben destacarse las siguientes actuaciones:

- Zonas de bajas emisiones (Berlín, Munich, ciudades de Suecia, Londres, y alrededor de otras 150 ciudades en Europa).
- Restricción de tráfico durante episodios de contaminación.
- Mejora del transporte público y de transportes ecológicos (varias ciudades)
- Depuración de las emisiones de NO_2 y PM_{10} de los autobuses y autocares.

En cualquier caso, el fomento del transporte público, ha de estar completamente desarrollado para ofrecerlo como modo de transporte alternativo antes de aplicar actuaciones para disminuir el transporte privado.

Es muy importante que, precediendo a dichas actuaciones se desarrollen extensas campañas de divulgación social sobre el problema que supone una mala calidad del aire y se comunique a los ciudadanos la necesidad de aplicación de acciones que pueden influir en su movilidad, pero que son imprescindibles para mejorar la calidad del aire. Sin esta campaña intensiva preliminar de concienciación ciudadana, el cumplimiento de las medidas que posteriormente entrarán en vigor puede verse seriamente reducido. Además, la experiencia de la aplicación de muchos planes muestra que los clubes de automovilistas reaccionan negativamente frente a muchas de las acciones propuestas para la mejora de la calidad del aire, llegando incluso a orquestar campañas de oposición a las mismas.

Un adecuado plan de concienciación debería además incluir un estudio de valoración económica del impacto provocado por la contaminación del aire urbano, que como ya se ha comentado en este

estudio, en un gran porcentaje, es de origen antropogénico. Informar debidamente, además de los riesgos para la salud, de los costes que esto supone para las arcas públicas nutridas por todos (contabilizado por días de bajas, ingresos hospitalarios, tasas de mortalidad, daños en patrimonio cultural, edificios e infraestructurales en general, agricultura y explotaciones forestales, etc.), podría facilitar la toma de conciencia de la problemática ambiental que supone tener una mala calidad del aire.

El impulso en la adopción de medidas tecnológicas y no tecnológicas puede ser estimulado a través de la aplicación de instrumentos de mercado que por una parte estimulen la investigación, el desarrollo y la adopción de nuevas tecnologías tanto por parte de los productores como de los consumidores, a través de incentivos fiscales, y por otra el cambio en la conducta perjudicial para la internalización de los costes producidos por la contaminación a través de, por ejemplo, impuestos ambientales.

Para afrontar la contaminación urbana, además de las medidas de eficiencia y reducción del transporte, que serían las principales, existen también otras complementarias.

6.2. Desarrollo de infraestructuras verdes, azules y grises que potencien la mejora de la calidad del aire urbano

Las infraestructuras verdes y las azules deben ser una clara apuesta por la mejora del medio ambiente urbano, con gran influencia en la mejora de la calidad del aire y en la reducción de los efectos del cambio climático en las ciudades.

La infraestructura verde urbana, dependiendo de su calidad en términos de naturalidad y biodiversidad, variabilidad, tamaño, forma y distribución, puede proporcionar una importante variedad de servicios ecosistémicos que inciden en la calidad de vida en las ciudades, incluido un aire más limpio y un efecto menos acusado del cambio climático. Así, puede regular el microclima proporcionando sombra, aislamiento térmico, humedad y protección contra el viento, lo que disminuirá el efecto de "isla de calor". También puede mantener o aumentar el potencial de infiltración, al mismo tiempo que evitar una escorrentía elevada y aliviar los sistemas de canalización.

Este es un servicio ecosistémico muy importante si se producen mayores precipitaciones y, en particular, en relación la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos que se prevé exista en el futuro como consecuencia del cambio climático. Por otra parte, tal y como se ha comentado anteriormente, puede mejorar la calidad del aire y las condiciones de ruido. Las plantaciones densas de arbustos y árboles pueden absorber grandes cantidades de polvo y contaminantes mientras que también actúan, hasta cierto punto, como filtros para el ruido. Cabe destacar que pueden tener sinergias con las infraestructuras azules, potenciando mutuamente la mejora del medio ambiente urbano.

Uno de los ejemplos en los que se puede observar las potencialidades de las infraestructuras verdes es en la propuesta del Ayuntamiento de Londres denominada *The All London Green Grid*. Tiene como objetivo crear una red de infraestructura verde interrelacionada y bien diseñada, con espacios multiusos y zonas verdes que tenga buenas conexiones con los ámbitos residenciales y de trabajo, el transporte público, el *Green Belt* (anillo verde) y el *Blue Ribbon Network* (una infraestructura azul), especialmente el Támesis. Esta infraestructura verde proveerá una importante variedad de paisajes y beneficiará tanto a la población como a la fauna y flora promoviendo diversos usos que favorezcan la accesibilidad. Entre sus funciones se encuentra la mejora de la calidad del aire y la apuesta por un modo de vida saludable (GLA, 2012:23).

Otro ejemplo, esta vez más cercano, es el Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz, primera ciudad de tamaño medio, nombrada "*Green Capital, 2012*". El Anillo Verde es una superficie de 662 ha que circunvala la ciudad. Es una apuesta por la mejora de la calidad de vida y de salud pública para los ciudadanos en la que se lleva trabajando casi dos décadas. Esta medida está ayudando a aliviar el tráfico rodado que circunvala la ciudad y recupera el espacio para los ciudadanos.

En cuanto al desarrollo de infraestructuras azules cabe citar algunas medidas concretas que ya han sido llevadas a cabo en distintos lugares y que han tenido gran éxito:

- Depósitos de Infiltración, que consisten en zonas verdes, dónde el agua queda embalsada en superficie hasta que se infiltra, y canales naturalizados, donde se recoge agua de lluvia y puede ser transportada. como las que se han instalado en Portland.

- Jardines de lluvia, que actúan como balsas de retención y dónde se filtra el agua de escorrentía, de manera que actúa como depuración natural, reduciendo los contaminantes del agua que pasa al sistema de saneamiento. Como ocurre en los Jardines de la Isla Seguin, París.
- Restauración de cursos fluviales, como en el caso de Chinbrook en Reino Unido, para así recuperar la funcionalidad ecológica, paisajística e hidrográfica.
- Restauración y conservación de humedales, a través de la inclusión de los mismos de los Planes Generales de ordenación territorial, como en el caso de Nueva Orleans.

En cuanto a infraestructura gris convendría incluir en la planificación urbana criterios para la buena calidad del aire, eliminando puntos calientes, ubicando infraestructuras logísticas de mayor uso para los colectivos vulnerables alejadas de los principales fuente de emisiones de contaminantes, además de utilizar materiales que ayuden en la descontaminación atmosférica.

Los materiales de construcción pueden tener un papel en la mejora de la calidad del aire atmosférica actuando como elementos urbanos para la descontaminación. Aunque la incidencia del uso de estos materiales, que incluyen aditivos fotocatalizadores para descontaminar, es variable, existen datos positivos ya que según la composición y microestructura de los morteros se pueden obtener variaciones de hasta un 52% de rendimiento en la degradación de gases NO/NO_x (Sánchez Granados, L.; Cruz Yusta, M.; Mármol Prados, I., 2012).

Apuestas para disminuir la concentración de estos gases contaminantes en la atmósfera de una ciudad pasan por la creación de grandes superficies descontaminantes que permitan la limpieza de los mismos en su entorno, o más específicamente, utilizar los edificios para este propósito, cuestión esta última que podría relacionarse con la rehabilitación energética (lo que puede a su vez ayudar a mitigar el cambio climático) y convertirse así en un potencial yacimiento de empleo verde.

Es importante señalar que este conjunto de medidas sobre infraestructuras verdes, azules y grises involucran a todos los niveles de gobierno, y deben ser desarrolladas desde la planificación y ordenación territorial y la gobernanza. A escala local y supralocal, municipios y regiones se han de centrar en la implementación de medidas de adaptación concretas, dónde será muy importante la participación social, mientras que los gobiernos nacionales y europeos deberán ejercer un papel de apoyo a este tipo de actuaciones.

Este tipo de actuaciones (infraestructuras verdes, azules y grises), al igual que aquellas que se centran en mejorar la eficiencia del sector transporte, deben ir acompañadas de campañas de participación, información y sensibilización ciudadana, para involucrar e informar a la población que va a disfrutar de las nuevas infraestructuras.

Del mismo modo se pueden realizar campañas con el objetivo de modificar ciertos hábitos y pautas de consumo entre la población que van en contra del propósito de la instalación de este tipo de infraestructuras, ya sean verdes o azules. Un buen ejemplo de ello es el Programa de Prevención de Contaminación de Aguas (http://www.flowstobay.org/), que existe en la Bahía de California, más concretamente en el Condado de San Mateo, y donde se desarrollan numerosas campañas, como por ejemplo “Usted es la Solución para Prevenir la Contaminación del agua que va a los desagües”.

6.3. La planificación estratégica como herramienta de gestión para la reducción de contaminantes urbanos

En general, la mejora de la calidad del aire en las ciudades requiere de políticas de ordenación territorial y de planificación urbanística comprometidas con la sostenibilidad ambiental.

La elección de un modelo de transporte nacional-regional basado en el transporte por carretera o el transporte por ferrocarril influirá a escala regional en los niveles de emisiones de sustancias contaminantes. A escala local la elección de un modelo de ciudad difusa, que fomenta una mayor demanda de transporte privado, frente a un modelo de ciudad compacta, que favorece el uso del transporte público, influirá en la calidad del aire de sus habitantes.

El planeamiento urbano puede convertirse en una oportunidad para reducir la contaminación en la ciudad de manera directa e indirecta. Por una parte, la regulación principal que incluye el planeamiento urbano, como es el uso o destino del suelo puede implicar patrones de movilidad: desde

la configuración de una ciudad compacta o difusa, el crecimiento de la misma, o la ubicación de la residencia y trabajo, lo que supone una movilidad forzada, entre otros. Pero no solo eso, el planeamiento urbano puede fomentar o no un modelo de movilidad, con la incidencia que de esto deriva para la calidad del aire, en algunas cuestiones como la dotación de aparcamiento por vivienda, que pueden formar parte de las ordenanzas. Por otra parte, la revisión del plan general puede suponer una oportunidad para la puesta en marcha de planes asociados en materia de calidad del aire y cambio climático, entre otras cuestiones, que complementen los temas en los que incide directamente el plan.

También la planificación urbana puede ayudar a proteger a los colectivos sociales más vulnerables a los efectos de la contaminación atmosférica. La ubicación de los centros educativos, centros de salud y las residencias y centros de día para la tercer edad, debe estar lo más alejada posible de vías de comunicación con elevadas intensidades de tráfico, ya que diversas investigaciones han demostrado un incremento en el riesgo de padecer enfermedades cardio-respiratorias e incluso en el riego de muerte, por la cercanía a este tipo de infraestructuras.

En este sentido será muy importante la puesta en marcha de políticas de cooperación entre diferentes administraciones y departamentos para tratar las desigualdades ambientales de la mala calidad del aire en relación a los barrios vulnerables.

Abordar las desigualdades ambientales entre las que tiene un papel destacado la mala calidad del aire implica apostar por una renovación urbana que incluya aspectos sociales, económicos, ambientales y de calidad del hábitat para barrios vulnerables, que implica poner en marcha una agenda común entre diferentes administraciones y departamentos.

En esa línea, la investigación aplicada, como la que hace el Observatorio de la Vulnerabilidad Urbana (2011), que ayude a identificar esos barrios vulnerables y conocer su evolución, así como su relación con la mala calidad del aire, y otros indicadores ambientales, debe repercutir en una mejor gestión de esas desigualdades ambientales, desde la cooperación administrativa.

6.4. Adaptación y medidas de mejora ante un escenario de cambio climático

El cambio climático no puede tratarse como un fenómeno distinto a la contaminación atmosférica, dado que están estrechamente relacionados y ambos son, en parte, consecuencia del incremento en el uso de combustibles fósiles.

La concentración de los contaminantes atmosféricos depende de las fuentes que lo producen y de cómo se dispersan. El cambio climático puede afectar a ambos procesos, además de influir en los fenómenos meteorológicos, que a su vez repercute en la calidad del aire.

Las previsiones hacen pensar que el cambio climático provocará un aumento del ozono y de las partículas lo que conduce a un empeoramiento de la calidad del aire. Las principales respuestas a los posibles impactos del cambio climático en la salud son la mitigación y la adaptación. Sin embargo, la adaptación no es una estrategia eficaz de manejo de riesgo para la mala calidad del aire, dado que los mecanismos fisiológicos para disminuir la susceptibilidad al ozono y a otros contaminantes ambientales son limitados, por lo tanto lo más eficaz es reducir de manera rápida las emisiones generadas por la quema de combustibles fósiles para proteger la salud de las generaciones actuales y futuras.

Un aspecto fundamental es capitalizar los co-beneficios de las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático. Muchas medidas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero conllevan co-beneficios locales e inmediatos para la salud (Tirado, 2010).

Otro punto clave para reducir los impactos de las amenazas ambientales como el cambio climático o la mala calidad del aire es la consideración de los impactos en la salud en todas las políticas, estrategias y medidas actuales y futuras de adaptación y mitigación del cambio climático.

El sector de los profesionales de la salud puede jugar un papel central en la comunicación de los riesgos para la salud del cambio climático y de la contaminación atmosférica y colaborar con otros sectores en la promoción y diseño de las medidas de de adaptación. En este punto, un aspecto clave es asegurar la protección de la salud de los grupos de población más vulnerables (McMichael, 2012).

Por último se debe promover y ayudar a avanzar en el conocimiento de la naturaleza de los riesgos relacionados con el cambio climático y la contaminación atmosférica apoyando la investigación sobre el tema, y, en especial en la evaluación de la efectividad de las acciones preventivas que se han puesto en marcha en los últimos años.

6.5. Medidas para mejorar el impacto de la contaminación atmosférica en la salud pública y calidad de vida de los ciudadanos

- Información en los centros educativos sobre los niveles de contaminación y posibles repercusiones en la salud.
- Campañas de medición e indicadores de contaminación atmosférica en parques infantiles y zonas de recreo, colegios y escuelas infantiles, con información entendible para población general.
- Formación específica al personal sanitario en general y a pediatras y servicios de urgencias en particular de las repercusiones en salud (especialmente en el agravamiento de enfermedades respiratorias) de las altas concentraciones de determinados contaminantes atmosféricos.
- Elaboración de guías sobre cómo proteger a los niños de los efectos de los contaminantes atmosféricos.
- Sería recomendable ofrecer información a la población de riesgo, de una forma clara y directa, de cuando se van a producir aportaciones de origen natural (polvo del Sahara) y las medidas preventivas que han de seguir para minimizar los posibles efectos sobre la salud.
- Ubicación de los espacios urbanos destinados a la población infantil (parques, zonas de recreo) con criterios que atiendan a la buena calidad ambiental en general y a la atmosférica en particular.
- Las Evaluaciones de Impacto en Salud (EIS) son una herramienta infrautilizadas en España, que sin embargo están siendo un instrumento clave en países como Holanda, Reino Unido y Nueva Zelanda, a los que han seguido Canadá, Australia y Tailandia como herramientas eficaces para que la salud se integre en la formulación de todas las políticas públicas. La EIS implica poder adoptar medidas basadas en la evidencia empírica y evaluar eficiencia de dichas políticas en términos de salud y de equidad, tal y como recomienda hacer la Comisión de los Determinantes sociales de la OMS y la Estrategia de Salud en todas las políticas (SeTp).
- Las adevecciones de polvo del Sahara son de origen natural por lo que no se puede limitar los aportes de contaminantes, fundamentalmente partículas, asociados a estas intrusiones. Puesto que es conocido cuando se van a producir estas advecciones, sería recomendable en los núcleos urbanos la reducción de emisiones de origen antropogénico para que la suma de ambos factores (polvo del Sahara y fuentes antrópicas) no superen los umbrales para la protección de la salud.

Para finalizar este capítulo conviene recordar algunas de las actuaciones ya puestas en marcha en la actualidad y sobre las que se ha de seguir insistiendo en el futuro para mejorar la calidad del aire urbano y su impacto en la salud pública y calidad de vida de los ciudadanos:

- Desarrollar estudios epidemiológicos detallados y mayor implementación de la herramienta de Evaluación de Impacto en la Salud (EIS),
- Mejorar los datos de inmisión, estandarizar las técnicas de medición, fijar un protocolo de recogida de datos, armonizarlos para que permitan las comparaciones entre ellos, además de diseñar un sistema de trabajo en red.
- Desarrollar y mejorar los modelos de predicción de la contaminación atmosférica. La incorporación del uso de modelos de calidad del aire para el diseño de Planes de Calidad del Aire en las ciudades, también repercutiría en una mejora sustancial en la calidad del aire, especialmente si la información suministrada se utiliza para planificar medidas encaminadas a reducir las emisiones, sobre todo las generadas por el tráfico rodado. En este informe se muestra un ejemplo simple de la utilidad de los modelos como herramienta de mejora de la calidad del aire, en este

caso analizando situaciones hipotéticas y estimando el impacto de una posible redistribución del tráfico (Ver apartado 3.5.3).

- Seguir trabajando en el desarrollo de sistemas de información geográfica que faciliten y simplifiquen el acceso a toda la población de la situación de la calidad del aire en tiempo real en su territorio, y que también proporcionen información sobre la influencia de los niveles de calidad del aire existentes sobre su salud. La difusión de la información sobre calidad del aire favorecería la participación pública en la toma de decisiones informada sobre contaminación atmosférica.
- Integrar de manera transversal e intersectorial la calidad del aire en las distintas políticas, estrategias y planes de actuación, muy especialmente las relativas a industria, fomento, medio ambiente y salud, que requiere una sensibilidad compartida hacia este tema que incorpore la cooperación entre las distintas instituciones y administraciones (europeas, nacionales, regionales, comarcales y locales).
- Mejorar las tecnologías industriales disponibles para mejorar el aire de las zonas industriales.
- Realizar evaluaciones económicas detalladas de los efectos de la contaminación atmosférica.

7. ANEXOS

ANEXO I. MARCO REGULATORIO

I.1. Marco regulatorio de la Organización Mundial de la Salud

TABLA I.1. Concentraciones de Partículas, Ozono y NO_2 recomendados y objetivos.

PM, CONCENTRACIONES MEDIAS ANUALES			
	PM_{10} (µg/m³)	**$PM_{2,5}$ (µg/m³)**	**Fundamento del nivel elegido**
Objetivo intermedio 1 (OI-1)	70	35	Niveles asociados a un incremento de mortalidad a largo plazo del 15% con respecto a los niveles marcados por la GCA
Objetivo intermedio 2 (OI-2)	50	25	Además de otros beneficios para la salud, estos niveles consiguen reducir el riesgo de mortalidad prematura en un 6% aproximadamente [2-11%] en comparación con el nivel del OI-1
Objetivo intermedio 3 (OI-3)	30	15	Consiguen reducir el riesgo de mortalidad en un 6% [2-11%] en comparación con el nivel OI-2
OBJETIVO 2030			
Guía de Calidad del Aire (GCA)	20	10	Estos son los niveles más bajos para los que se ha demostrado que la mortalidad total, cardiopulmonar y por cáncer de pulmón, aumenta en respuesta a la exposición prolongada a $PM_{2,5}$

OZONO (O_3)		
	Media máxima diaria de ocho horas (µg/m³)	**Fundamento del nivel elegido**
Niveles Altos	240	Efectos significativos en la salud, afecta a toda la población, muy especialmente a los más susceptibles
Objetivo intermedio -1 (OI-1)	160	No proporciona protección a la salud. La exposición a este nivel está asociada con: - efectos fisiológicos e inflamatorios en los pulmones de adultos jóvenes sanos que hacen ejercicio y que están expuestos durante periodo de 6,6 horas; – efectos en la salud infantil; – aumento estimado de un 3-5% de la mortalidad diaria*
Guía de Calidad del Aire (GCA)	100	Proporciona protección adecuada de la salud pública, aunque pueden producirse efectos en la salud por debajo de este nivel. La exposición a este nivel de ozono está asociada con: -un aumento estimado de un 1-2% de la mortalidad diaria (basado en resultados de series cronológicas diarias); la extrapolación a partir de estudios de laboratorio y de campo, basad en la probabilidad de que la exposición en la vida real tienda a ser repetitiva y en que se excluyan de los estudios de laboratorio las personas muy sensibles y con problemas críticos como los niños; la probabilidad de que el ozono ambiental sea un marcador para los oxidantes relacionados con él.

DIOXIDO DE NITROGENO (NO_2)			
	Media anual	Media de una hora	Fundamento
Guía de Calidad del Aire	40µg/m³	200µg/m³	

I.2. Marco regulatorio americano: Agencia Americana de Protección Ambiental (EPA)

TABLA I.2. Valores Límite y umbrales de alerta para la calidad del aire.

PM, CONCENTRACIONES MEDIAS ANUALES				
		Tiempo promedio de exposición	Niveles	Valores límite y umbrales de alerta
CO	Primario	8 h	9 ppm	No superarse más de una vez al año
		1 h	35 ppm	
Plomo	Primario y Secundario		0,15 µg/m³	No puede ser superado
NO_2	Primario	1 h	100 ppm	98th percentil, como promedio sobre tres años
	Primario y Secundario	Anual	53 ppm	Media anual
Ozono	Primario y Secundario	8 h	0,075 ppm	No exceder 4 conc. máx. octohorarias/día al año, promediadas en tres años
$PM_{2,5}$	Primario y Secundario	Anual	15 µg/m³	Media anual. Promedio de tres años
		24h	35 µg/m³	98th percentil. Promedio sobre tres años
PM_{10}	Primario	24h	150 µg/m³	No superar más de una vez al año
SO_2	Primario	1h	75 ppb	99th percentil de una hora díaria de conc. máx. Promediado en tres años
	Primario y Secundario	3h	0,5 ppm	No superarse más de una vez al año

(*) Las unidades de medida para los niveles de contaminantes son partes por millón (ppm) por el volumen, partes por mil millones (ppb) por el volumen, y microgramos por metro cúbico de aire (µg/m³).

I.3. Marco regulatorio europeo

TABLA I.3. Valores Límite y Objetivo para la calidad del aire fijados por el Real Decreto 1073/2002 (para el NO_2, SO_2, O_3 y PM_{10}), Real Decreto 1796/2003 (para el Ozono) y Directiva 107/2004/CE.

PM, CONCENTRACIONES MEDIAS ANUALES				
Compuesto	Valor límite/ objetivo/ umbral de alerta	Concentración	Nº superaciones máximas (más de)	Año de aplicación
PM_{10}	Media anual	40 µg/m³	35 días/año	2005
	Media diaria	50 µg/m³		
$PM_{2,5}$	Media anual	25 µg/m³		2010 (objetivo)
	Media anual	25 µg/m³		2015 (objetivo)
	Índice de reducción exposición	Reducir un 20% en estaciones de fondo urbano		Media trienal 2008-2010 a 2018-2020
SO_2	Media anual	125 µg/m³	3 días/año	2005
	Media horaria	325 µg/m³	24 horas/año	
	Umbral de alerta (3 horas consecutivas en área representativa de 100 km o zona de aglomeración entera)	500 µg/m³		
NO_2	Media anual	40 µg/m³	18 horas/año	2010
	Media horaria	200 µg/m³		
O_3	Media octo-horaria	120 µg/m³	25 días/año	2010
	Umbral de información	180 µg/m³		En vigor
	Umbral de alerta	240 µg/m³		En vigor

Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012..

ANEXO II. Relación de colegios y escuelas infantiles ubicados a menos de 150 metros de vías de comunicación con una intensidad de tráfico (IMS ≥ 40.000 veh./día)

CENTROS ESCOLARES QUE IMPARTEN EDUCACIÓN INFANTIL		
Código del centro	**NOMBRE DEL CENTRO**	**Número de alumnos de educación infantil en el centro**
28011091	AFUERA III A	71
28068013	ANDAL I	89
28065942	ANDAL II	42
28072557	ARCADIA	28
28072481	ARCADIA 1 SERRANO	52
28057611	ARMONIA	33
28021124	ARQUITECTO GAUDI	94
28009069	ARTURO SORIA	93
28006767	AULA NUEVA	60
28061572	BAMBI Y TAMBOR	24
28068301	CAMPANILLA	114
28059061	CARACOL	41
28068177	CENTRO DE EDUCACIËN INFANTIL DEL MINISTERIO DE FOM	168
28070184	CENTRO DE EDUCACION INFANTIL DEL MINISTERIO DE DEF	76
28005210	CERVANTES	72
28071051	CHIQUI TIN EMBAJADORES	110
28064469	CHIQUITIN	140
28011684	CIUDAD DE CORDOBA	149
28020673	CIUDAD DE VALENCIA	329
28015148	CLARET	303
28005258	CLAUDIO MOYANO	74

(…)

CENTROS ESCOLARES QUE IMPARTEN EDUCACIÓN INFANTIL		
Código del centro	**NOMBRE DEL CENTRO**	**Número de alumnos de educación infantil en el centro**
28069078	COCORICO	34
28007309	COLEGIO NUEVO EQUIPO	80
28047587	COLORIN COLORADO	87
28010497	CONCEPCION ARENAL	148
28011635	CORAZON INMACULADO	125
28011659	CORPUS CHRISTI	51
28065875	CUARTEL GENERAL DEL EJERCITO DEL AIRE	41
28072533	CUCHITOS	76
28066685	DE PEQUES	54
28005076	DE PRACTICAS ASUNCION RINCON	147
28046388	DIONISIA PLAZA	18
28010540	DIVINO MAESTRO	159
28026110	DOSPARQUES	77
28070020	EDUCANDO	36
28071607	EDUCANDO II	22
28073343	EDUCANDO JUNTOS	29
28069388	EDUCAVIDA ES-COOL	110
28039360	EE.UU. DE AMERICA-HUARTE DE SAN JUAN	32
28047472	EL ALBA	109
28071851	EL BATEO	170
28061110	EL CARMEN	56
28062539	EL CARMEN II	29
28044434	EL ESPINILLO	258
28065267	EL IGLOO	38
28056874	EL JARDIN DE LOS GENIOS	42
28069546	EL PARQUE DE PEGASO	23
28059620	EL PINAR	40
28049304	EL TREN DE LOS NIÑOS	14
28062357	EL TREN DE LOS NIÑOS II	29
28031105	ENRIQUE GRANADOS	24
28065152	EPI I	37
28063404	EPI II	14
28072946	ESCUELA INFANTIL BRAINS MADRID	142
28011945	FRAY LUIS DE LEON	153
28069613	HOLA CARACOLA	31
28004552	ISAAC ALBENIZ	63
28050343	JAIME VERA	200
28063520	JARDIN INFANTIL	66
28032225	JESUS MARIA-NTRA. SRA. CARIDAD DEL COBRE	150

(...)

CENTROS ESCOLARES QUE IMPARTEN EDUCACIÓN INFANTIL		
Código del centro	**NOMBRE DEL CENTRO**	**Número de alumnos de educación infantil en el centro**
28021306	JOAQUIN TURINA	51
28010746	JOSE CALVO SOTELO	214
28063969	KING'S INFANT SCHOOL (BRITANICO)	151
28068475	LA CASA DE LA TORRE	51
28063261	LA CASA DEL RIO	62
28072016	LA GRAN VIA	171
28062412	LA GUARDE I	69
28061067	LA JIRAFA	35
28048661	LA PRADERA	89
28020041	LA SALLE-LA PALOMA-FUNDACION LARA	75
28061420	LA VIRGEN NIÑA	47
28061501	LAGO COMO	32
28068888	LAS MARGARITAS	23
28010761	LEGADO CRESPO	72
28064627	LETRAS	39
28008600	LICEO OROQUIETA	39
28010783	LOPE DE VEGA	145
28047903	LOPE DE VEGA	33
28043430	LOS ANGELES	153
28060555	LOS ANGELES	61
28073069	LOS ANGELOTES DEL SIGLO XXI	20
28071905	LOS GAVILANES	111
28068921	LOS NIDOS DE MANOTERAS	64
28072119	LOS NOGALES	40
28064676	LOS RETOÑOS	67
28067392	LOS TILOS	164
28020235	LOURDES	157
28033035	MACARENA	84
28007103	MADRES CONCEPCIONISTAS	227
28072466	MAESTRO PADILLA	150
28065127	MAMA QUECA II	44
28010813	MARCELO USERA	78
28064901	MARIA AUXILIADORA	12
28049250	MENAGAR	66
28061882	MICOS, MI PRIMER COLE	153
28010849	MIGUEL BLASCO VILATELA	212
28010850	MIGUEL DE UNAMUNO	302
28071504	MIMUNDI	22
28061262	MINISTERIO DE TRABAJO E INMIGRACION	37

(…)

CENTROS ESCOLARES QUE IMPARTEN EDUCACIÓN INFANTIL		
Código del centro	**NOMBRE DEL CENTRO**	**Número de alumnos de educación infantil en el centro**
28012901	NATIVIDAD DE NUESTRA SEÑORA	111
28030319	NAZARET	128
28073185	NEMOMARLIN ARGANZUELA	47
28073239	NEMOMARLIN PASEO DE LA HABANA	46
28004825	NICOLAS SALMERON	38
28031609	NIRO	61
28013255	NTRA. SRA. DE LA MERCED	119
28008259	NTRA. SRA. DE LOS DOLORES	90
28030289	NTRA. SRA. DE MORATALAZ	71
28008508	NTRA. SRA. DEL PILAR	162
28066909	NUBES II	41
28066247	OSA MENOR	61
28005994	PADRE COLOMA	82
28006020	PADRE POVEDA	141
28010916	PALACIO VALDES	65
28017996	PARQUE CONDE DE ORGAZ	129
28010931	PATRIARCA OBISPO EIJO GARAY	72
28035196	PAYDOS	30
28058241	PEDAGOGIA WALDORF DE ARAVACA	63
28048831	PEQUEÑINES	50
28069248	PIPOLANDIA	15
28028490	PIPO'S	55
28061560	PIPO'S	19
28010357	PORTUGAL	45
28059036	PROJARDIN PRAGA	29
28006101	PUERTO RICO	161
28013191	REAL COLEGIO NTRA. SRA. DE LORETO	159
28008818	REINA DE LOS ANGELES	80
28016256	REINADO DEL CORAZON DE JESUS	79
28063091	RISITAS	28
28068281	ROCIO JURADO	111
28006238	RUFINO BLANCO	144
28013772	SAGRADO CORAZON	240
28016268	SAGRADO CORAZON	82
28007292	SAGRADO CORAZON DE JESUS	156
28013802	SAGRADO CORAZON DE JESUS	167
28013826	SAGRADOS CORAZONES	66
28012640	SALESIANOS ATOCHA	226
28016645	SAN ALBERTO MAGNO	72

(...)

CENTROS ESCOLARES QUE IMPARTEN EDUCACIÓN INFANTIL		
Código del centro	**NOMBRE DEL CENTRO**	**Número de alumnos de educación infantil en el centro**
28008995	SAN ANTONIO	62
28019658	SAN BENITO	83
28009033	SAN BUENAVENTURA	248
28013991	SAN FRANCISCO DE ASIS	69
28006329	SAN ISIDORO	144
28009203	SAN JAVIER	165
28009291	SAN JUAN BAUTISTA	151
28006354	SAN JUAN DE LA CRUZ	64
28064615	SAN MIGUEL	12
28044884	SAN NICOLAS BABY 2	52
28014223	SAN PATRICIO	207
28019725	SAN RAMON Y SAN ANTONIO	131
28009446	SAN VIATOR	241
28070172	SANCALO	26
28006378	SANTA ANA Y SAN RAFAEL	157
28014387	SANTA CRISTINA	47
28017777	SANTA CRUZ	62
28009495	SANTA ELIZABETH	29
28018851	SANTA ILLA	29
28019348	SANTA JOAQUINA DE VEDRUNA	345
28006381	SANTA MARIA	77
28014508	SANTA MARIA DEL CARMEN	106
28043077	SANTA SUSANA	128
28071073	SANTA TERESA	38
28045530	SCUOLA MATERNA ITALIANA DE MADRID (ITALIANO)	192
28015100	STELLA MARIS	142
28064809	TOBOGAN II	82
28010394	TOMAS BRETON	155
28062278	TRAZOS	74
28011040	VAZQUEZ DE MELLA	66
28033023	VERBO ENCARNADO	86
28065929	ZAZUAR III	36

Centros escolares que están ubicados a menos de 150 metros de vías de comunicación con una IMD mayor de 40.000 vehículos/día, y número de alumnos en cada centro		
Código del centro	**NOMBRE DEL CENTRO**	**Número de alumnos en el centro**
28044938	E.O.I. DE MADRID-EMBAJADORES	1720
28044938	E.O.I. DE MADRID-EMBAJADORES	1720
28045271	CIUDAD LINEAL	576
28044884	SAN NICOLAS BABY 2	52
28006329	SAN ISIDORO	281
28006354	SAN JUAN DE LA CRUZ	164
28006378	SANTA ANA Y SAN RAFAEL	969
28006381	SANTA MARIA	200
28006767	AULA NUEVA	228
28007103	MADRES CONCEPCIONISTAS	1103
28007292	SAGRADO CORAZON DE JESUS	734
28007309	COLEGIO NUEVO EQUIPO	392
28007619	JESUS MARIA	633
28027941	MARIA INMACULADA	621
28036103	EFESO	166
28037791	RETIRO	228
28047587	COLORIN COLORADO	87
28010497	CONCEPCION ARENAL	414
28010540	DIVINO MAESTRO	758
28008259	NTRA. SRA. DE LOS DOLORES	90
28008351	NTRA. SRA. DE LAS MARAVILLAS	1711
28008508	NTRA. SRA. DEL PILAR	1074
28008600	LICEO OROQUIETA	117
28008818	REINA DE LOS ANGELES	80
28008995	SAN ANTONIO	171
28009033	SAN BUENAVENTURA	1238
28009069	ARTURO SORIA	732
28025919	INSTITUTO RADIO TELEVISION ESPAÑOLA (INSTITUTO RTV	132
28025993	FEDERICO GARCIA LORCA	80
28046388	DIONISIA PLAZA	274
28009203	SAN JAVIER	695
28009291	SAN JUAN BAUTISTA	1173
28009446	SAN VIATOR	1349
28009495	SANTA ELIZABETH	163
28010357	PORTUGAL	155
28010394	TOMAS BRETON	458
28026110	DOSPARQUES	223
28011635	CORAZON INMACULADO	653

(…)

Centros escolares que están ubicados a menos de 150 metros de vías de comunicación con una IMD mayor de 40.000 vehículos/día, y número de alumnos en cada centro		
Código del centro	**NOMBRE DEL CENTRO**	**Número de alumnos en el centro**
28011659	CORPUS CHRISTI	328
28011684	CIUDAD DE CORDOBA	417
28011945	FRAY LUIS DE LEON	1110
28029241	VALLECAS (E.E.)	128
28048661	LA PRADERA	89
28048831	PEQUEÑINES	50
28010746	JOSE CALVO SOTELO	588
28010761	LEGADO CRESPO	230
28010783	LOPE DE VEGA	368
28010813	MARCELO USERA	228
28010849	MIGUEL BLASCO VILATELA	507
28010850	MIGUEL DE UNAMUNO	866
28010916	PALACIO VALDES	195
28010931	PATRIARCA OBISPO EIJO GARAY	166
28028490	PIPO'S	55
28037831	ESCUELA DE ARTE DE MADRID N.2	316
28047903	LOPE DE VEGA	33
28011040	VAZQUEZ DE MELLA	198
28011091	AFUERA III A	189
28013991	SAN FRANCISCO DE ASIS	338
28014223	SAN PATRICIO	548
28014387	SANTA CRISTINA	449
28031105	ENRIQUE GRANADOS	81
28031191	C.EST.PROFES.ADVOS.Y LINGUISTICOS(CEPAL)	146
28042361	REAL CONSERVATORIO PROFESIONAL DE DANZA MARIEMMA	381
28042449	ESCUELA DE ADULTOS DE MONCLOA	103
28043077	SANTA SUSANA	648
28043089	ACADEMIA TOAN	29
28012640	SALESIANOS ATOCHA	2409
28012901	NATIVIDAD DE NUESTRA SEÑORA	608
28013140	NTRA. SRA. DE GRACIA	150
28013191	REAL COLEGIO NTRA. SRA. DE LORETO	774
28013255	NTRA. SRA. DE LA MERCED	676
28030137	FORTUNY	618
28030231	SCUOLA STATALE ITALIANA DE MADRID (ITALIANO)	797
28030289	NTRA. SRA. DE MORATALAZ	322
28030319	NAZARET	128
28041202	MUSICAL SILVELA	25

(…)

Centros escolares que están ubicados a menos de 150 metros de vías de comunicación con una IMD mayor de 40.000 vehículos/día, y número de alumnos en cada centro		
Código del centro	**NOMBRE DEL CENTRO**	**Número de alumnos en el centro**
28041974	ANDANA	46
28041986	INTERMEZZO	12
28050203	SOTO MESA	38
28050343	JAIME VERA	510
28013772	SAGRADO CORAZON	1183
28013802	SAGRADO CORAZON DE JESUS	839
28013826	SAGRADOS CORAZONES	198
28016256	REINADO DEL CORAZON DE JESUS	379
28016268	SAGRADO CORAZON	705
28016645	SAN ALBERTO MAGNO	354
28017431	VELAZQUEZ	54
28017777	SANTA CRUZ	200
28017996	PARQUE CONDE DE ORGAZ	551
28044434	EL ESPINILLO	714
28018381	ORTEGA Y GASSET	777
28032833	ORGANIZACION PROFESIONAL ESPAÑOLA, OPESA	353
28033023	VERBO ENCARNADO	86
28033035	MACARENA	370
28014508	SANTA MARIA DEL CARMEN	677
28014651	SANTO DOMINGO SAVIO	1229
28014910	VIRGEN DE ATOCHA	1251
28015100	STELLA MARIS	620
28015148	CLARET	1742
28031555	ESCUELA SUPERIOR DE HOSTELERIA Y TURISMO	1056
28031609	NIRO	61
28032225	JESUS MARIA-NTRA. SRA. CARIDAD DEL COBRE	450
28043430	LOS ANGELES	153
28020041	LA SALLE-LA PALOMA-FUNDACION LARA	223
28020235	LOURDES	1112
28020399	ESCUELA PROFESIONAL JAVERIANA	354
28020673	CIUDAD DE VALENCIA	997
28020703	ENRIQUE TIERNO GALVAN	940
28020892	BEATRIZ GALINDO	2617
28037867	12 DISEÑO INDUSTRIAL	158
28045657	MONCLOA	614
28045748	CENTRO EUROPEO DE ESTUDIOS PROFESIONALES	30
28046467	ORCASITAS	915
28018514	AFUERA II	77

(…)

Centros escolares que están ubicados a menos de 150 metros de vías de comunicación con una IMD mayor de 40.000 vehículos/día, y número de alumnos en cada centro		
Código del centro	**NOMBRE DEL CENTRO**	**Número de alumnos en el centro**
28018563	GONZALEZ CAÑADAS	273
28018587	J.E.A.	177
28018769	ARIES	159
28018851	SANTA ILLA	153
28018897	DIAZ BALAGUER	180
28018988	VOX	69
28019348	SANTA JOAQUINA DE VEDRUNA	1486
28019658	SAN BENITO	198
28019725	SAN RAMON Y SAN ANTONIO	774
28019907	DARIO ESTUDIO	144
28019971	BARAJAS	893
28035196	PAYDOS	30
28045530	SCUOLA MATERNA ITALIANA DE MADRID (ITALIANO)	192
28004059	CERVANTES	1217
28004552	ISAAC ALBENIZ	153
28004825	NICOLAS SALMERON	126
28005076	DE PRACTICAS ASUNCION RINCON	430
28005210	CERVANTES	199
28039360	EE.UU. DE AMERICA-HUARTE DE SAN JUAN	126
28040192	AYENSA	33
28021781	CUMBRE	315
28021823	ESTUDIO 3	120
28022578	JOSE RAMON OTERO	470
28022712	ESCUELA TECNICO PROFESIONAL DE LA SALUD DE LA COMU	111
28020958	EMPERATRIZ MARIA DE AUSTRIA	880
28020961	CALDERON DE LA BARCA	1226
28021124	ARQUITECTO GAUDI	326
28021306	JOAQUIN TURINA	174
28038008	CENEC	39
28038987	PROGRESO MUSICAL	85
28047472	EL ALBA	109
28005994	PADRE COLOMA	218
28006020	PADRE POVEDA	391
28006101	PUERTO RICO	432
28006238	RUFINO BLANCO	433
28042644	SANTA EUGENIA	824
28049304	EL TREN DE LOS NIÑOS	14
28005258	CLAUDIO MOYANO	198

(…)

Centros escolares que están ubicados a menos de 150 metros de vías de comunicación con una IMD mayor de 40.000 vehículos/día, y número de alumnos en cada centro		
Código del centro	**NOMBRE DEL CENTRO**	**Número de alumnos en el centro**
28040647	ESC.TECNICA DE ENSEÑANZAS ESPECIALIZADAS	225
28049250	MENAGAR	66
28064901	MARIA AUXILIADORA	12
28072016	LA GRAN VIA	171
28072119	LOS NOGALES	40
28057349	HOSPITAL INFANTIL SAN RAFAEL	27
28064676	LOS RETOÑOS	67
28064809	TOBOGAN II	82
28071504	MIMUNDI	22
28071607	EDUCANDO II	22
28073677	SCAENA	11
28060786	ESCUELA EUROPEA AYUDANTES DE DIRECCION	77
28061031	RADIO ECCA	471
28061067	LA JIRAFA	35
28068013	ANDAL I	89
28059206	ABACO	20
28059322	CENTRO DE ESTUDIOS TRABASSE	93
28066247	OSA MENOR	61
28072934	INSTITUTO AMERICANO	423
28072946	ESCUELA INFANTIL BRAINS MADRID	142
28062278	TRAZOS	74
28062357	EL TREN DE LOS NIÑOS II	29
28068888	LAS MARGARITAS	23
28068921	LOS NIDOS DE MANOTERAS	64
28069078	COCORICO	34
28061110	EL CARMEN	56
28061161	ESCUELA SUPERIOR DE PUBLICIDAD	38
28061560	PIPO'S	19
28061572	BAMBI Y TAMBOR	24
28061882	MICOS, MI PRIMER COLE	153
28068177	CENTRO DE EDUCACIËN INFANTIL DEL MINISTERIO DE FOM	168
28068281	ROCIO JURADO	111
28068301	CAMPANILLA	114
28062084	INSTITUTO VOX	48
28064469	CHIQUITIN	140
28064615	SAN MIGUEL	12
28064627	LETRAS	39
28071051	CHIQUITIN EMBAJADORES	110

(…)

Centros escolares que están ubicados a menos de 150 metros de vías de comunicación con una IMD mayor de 40.000 vehículos/día, y número de alumnos en cada centro		
Código del centro	**NOMBRE DEL CENTRO**	**Número de alumnos en el centro**
28071073	SANTA TERESA	38
28058241	PEDAGOGIA WALDORF DE ARAVACA	193
28063091	RISITAS	28
28069546	EL PARQUE DE PEGASO	23
28069613	HOLA CARACOLA	31
28056874	EL JARDIN DE LOS GENIOS	42
28063738	SEMIN.MENOR ARZ.LA INMACULADA Y S.DAMASO	127
28057611	ARMONIA	33
28072533	CUCHITOS	76
28072557	ARCADIA	28
28073045	IED MADRID	317
28073069	LOS ANGELOTES DEL SIGLO XXI	20
28073185	NEMOMARLIN ARGANZUELA	47
28073239	NEMOMARLIN PASEO DE LA HABANA	46
28066685	DE PEQUES	54
28066909	NUBES II	41
28067392	LOS TILOS	696
28059620	EL PINAR	40
28065127	MAMA QUECA II	44
28065152	EPI I	37
28065267	EL IGLOO	38
28071851	EL BATEO	170
28071905	LOS GAVILANES	111
28072466	MAESTRO PADILLA	150
28072481	ARCADIA 1 SERRANO	52
28058792	CENTRO DE DANZA CARMEN ROCHE	52
28059036	PROJARDIN PRAGA	29
28059061	CARACOL	41
28065875	CUARTEL GENERAL DEL EJERCITO DEL AIRE	41
28065929	ZAZUAR III	36
28065942	ANDAL II	42
28063261	LA CASA DEL RIO	62
28063404	EPI II	14
28070020	EDUCANDO	36
28073343	EDUCANDO JUNTOS	29
28068475	LA CASA DE LA TORRE	51
28060555	LOS ANGELES	61
28062412	LA GUARDE I	69
28062539	EL CARMEN II	29

(…)

Centros escolares que están ubicados a menos de 150 metros de vías de comunicación con una IMD mayor de 40.000 vehículos/día, y número de alumnos en cada centro		
Código del centro	**NOMBRE DEL CENTRO**	**Número de alumnos en el centro**
28069248	PIPOLANDIA	15
28069388	EDUCAVIDA ES-COOL	110
28061262	MINISTERIO DE TRABAJO E INMIGRACION	37
28061420	LA VIRGEN NIÑA	47
28061501	LAGO COMO	32
28063520	JARDIN INFANTIL	66
28063969	KING'S INFANT SCHOOL (BRITANICO)	151
28064032	CENTRO DE ENSEÑANZAS SUPERIORES DE DISEÑO DE INTER	134
28070172	SANCALO	26
28070184	CENTRO DE EDUCACION INFANTIL DEL MINISTERIO DE DEF	76
28046169	CENTRO DE ESTUDIOS FINANCIEROS	–
28038550	HOSPITAL GREGORIO MARAÑON	–
28018371	CATEDRA DE PEDIATRIA, HOSPITAL CLINICO	–
28045712	APEC	–
28048968	PELUSIN	–
28049237	ESCUELA SUPERIOR DE FORMACION	–
28064767	SAN ROMAN ESCUELA DE ESTUDIOS SUPERIORES	–
28057994	AULA HOSPITALARIA LA PAZ	–
28058007	AULA HOSPITALARIA RAMON Y CAJAL	–
28073801	ESCUELA DE EDUCACION INFANTIL DEL COMPLEJO CUZCO	–
28061092	ESCUELA POPULAR DE PROSPERIDAD	–
28067835	CENTRO POLITECNICO A DISTANCIA Y EDITORIAL CPD, S.	–
28066201	ESERP	–
28069492	EL DUENDE TRAVIESO	–
28700180	EQUIPO GENERAL TETUAN-FUENCARRAL	–
28700209	EQUIPO GENERAL CENTRO-ARGANZUELA	–
28061985	EVENT-FORM	–
28064639	CENTRO FORMACION COMERCIAL DE REPSOL YPF	–
28068578	MASTER-D	–
28060701	ANDANA	–
28060725	MAESE PEDRO	–

(–) Sin datos

ANEXO III. Relación de siglas, acrónimos y abreviaturas

AAI:	Autorizaciones Ambientales Integradas
AEMA:	Agencia Europea del Medio Ambiente
AOT40:	Accumulated Ozone Exposure over a threshold of 40 Parts Per Billion
AOT-air:	Accumulated Ozone Exposure in the air
AOT-mrt:	Accumulated Ozone Exposure
APHEA:	Air pollution and health: A European approach
AR:	Assessment Report
art:	artículo
Ba:	Bario
BC:	Carbón negro (por sus siglas en inglés)
BREATHE:	BRain dEvelopment and Air polluTion ultrafine particles in scHool childrEn
BTEX:	benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos
CAFE:	Clean Air for Europe
CAFE-CBA:	siglas en inglés de CAFÉ Cost Benefit Analysis
CAM:	Comunidad Autónoma de Madrid
CAPV:	Comunidades Autónomas del País Vasco
CBA:	Análisis coste-beneficio (por sus siglas en inglés)
CCAA:	Comunidades Autónomas
CCEIM:	Centro Complutense de Estudios e Investigaciones Medioambientales
CE:	Comisión Europea
CEE:	Comunidad Económica Europea
CFD:	Computational Fluid Dynamics
CH4:	Metano
CIEMAT:	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas
CISIC:	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
CLC:	CORINE Land Cover
CO_2:	Dióxido de carbono
CONAMA:	Congreso Nacional de Medio Ambiente
conc.:	concentración
COP:	Compuestos orgánicos persistentes

CORINE:	Coordination of Information on the Environment
COVNM:	Compuestos orgánicos volátiles no metálicos
COVs:	Compuestos Orgánicos Volátiles
CREAL:	Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental
CRU:	Climatic Research Unit
Cu:	Cobre
DAP:	Disposición a pagar
dcha:	derecha
DEFRA:	Department for Environment, Food and Rural Affairs
e.g.:	por ejemplo (por sus siglas del latín)
E4:	Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012
EAC:	Environmental Audit Committee
EC:	European Comission
ECODES:	Ecología y Desarrollo
EEA:	European Environment Agency
EEUU:	Estados Unidos
EIS:	Evaluaciones de Impacto en la Salud
EMECAS:	Estudio multicéntrico en España de los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la salud
EMEP:	European Monitoring and Evaluation Programme
ene:	enero
ENHIS:	Environment and Health Information System
EPA:	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (por sus siglas en inglés)
Epic:	European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition
EPOC:	Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
ERC:	European Research Council
ESE:	Escenario de Emisiones
ESPON:	European Observation Network
et all.:	y otros
etc.:	etcétera
EV:	Esperanza de Vida
FCR:	Estimadores de riesgo relativo
Fe:	Hierro
FEMP:	Federación Española de Municipios y Provincias
FEV1:	Volumen espiratorio forzado en 1 segundo (por sus siglas en inglés)
FPEIR:	Fuerzas motrices-Presión-Estado-Impacto-Respuesta
g/m³:	gramos por metro cúbico
g:	gramos
GCA:	Guías de calidad del aire
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
GJ:	Gigajulio
GLCF:	Global Land Cover Facility
h:	horas
hrs:	horas
ha:	Hectárea
HAP:	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
HBEFA:	The Handbook Emission Factors for Road Transport
HC:	Hidrocarburos
HEREPLUS:	Health Risk from Environmental Pollution Levels in Urban Systems
HN:	Humos Negros

I+D+i:	Investigación, desarrollo e innovación
IC:	Intervalos de confianza
IDAEA:	Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua
IGN:	Instituto Geográfico Nacional
IMD:	Intensidad media diaria
INMA:	Proyecto Infancia y Medio Ambiente
IPCC:	siglas en inglés de la Directiva de prevención y control integrado de la contaminación
ISBN:	International Standard Book Number
ISTAS:	Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud
izda:	izquierda
jul:	julio
km:	kilómetros
km²:	kilómetros cuadrados
LUR:	siglas en inglés de Land Use Regression
m:	metros
m³:	metros cúbicos
MAGRAMA:	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
máx.:	máxima
MFOM:	Ministerio de Fomento
mm:	milímetros
Mn:	Manganeso
MTD:	Mejoras Tecnologías Disponibles
N:	Norte
NASA:	National Aeronautics and Space Administration
NEDC:	New European driving cycle
NE-SW:	Noreste-Suroeste
ng:	nanográmo
NH3:	amoniaco
nm:	nanómetros
NMHC:	Hidrocarburos no metánicos
NMMAPS:	National Morbidity, Mortality and Air Pollution Study
NMVOC:	Componentes orgánicos volátiles no metanos (por sus siglas en inglés)
nº:	número
NO:	Óxido nítrico
NO_2:	Dióxido de nitrógeno
NO_x:	Óxidos de Nitrógeno
NRL:	Naval Research Laboratory
O_3:	Ozono
ºC:	grados centígrados
oct:	octubre
OI:	Objetivo Intermedio
OM+EC:	materia orgánica y carbón elemental (por sus siglas en inglés)
OMS:	Organización Mundial de la Salud
OSE:	Observatorio de la Sostenibilidad en España
Pb:	Plomo
PEACE:	Pollution Effects on Asthmatic Children in Europe
PESETA:	Proyección de impactos económicos del cambio climático en sectores de la Unión Europea
PIB:	Producto Interior Bruto
PM:	materia particular
PM_1:	Partículas de tamaño inferior a 1 micra

PM_{10}:	Partículas de hasta 10 micrómetros de diámetro
$PM_{2,5}$:	Partículas de hasta 2,5 micrómetros de diámetro
PNMCA:	Plan Nacional de Mejora de la Calidad el Aire
PNRE-GIC:	Plan Nacional de Reducción de Emisiones en Grandes Instalaciones de Combustión
POBLA:	Población
PP.:	páginas
ppb.h:	partículas por billón hora
ppb:	partes por billón
ppm:	partes por millón
PRTR:	Registros de Emisiones y Transferencias de Contaminantes
RD:	Real Decreto
RITE:	Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios
SASHU:	Small Area Health Statistics Unit
Sb:	Antimonio
sep:	septiembre
SERCA:	Sistema de Evaluación de Riesgos por Contaminación Atmosférica en la Península Ibérica
SESA:	Sociedad Española de Sanidad Ambiental
SeTP:	Estrategia de la salud en Todas las Políticas
SNAP:	Selected Nomenclature for Sources of Air Pollution
SO_2:	Dióxido de azufre
Sox:	Óxidos de azufre
SRES:	Special Report on Emissions Scenarios
TiO2:	Óxido de titanio
UE:	Unión Europea
UE-25:	unión Europea de los veinticinco
UE-27:	unión Europea de los veintisiete
UFP:	Partículas ultra-finas
$\mu g/m^3$:	micrográmos por métro cúbico
UK:	United Kingdom
veh/dia:	vehículos por día
veh:	vehículos
VL:	Valores límite
VOCs:	Volatile organic compounds (siglas en inglés)
wc:	water closet
WHIASU:	Wales Health Impact Assessment Support Unit
WHO:	World Health Organization
WRF:	Weather and Research Forecast
Zn:	Zinc
µg:	microgramos
µm:	micrómetro

ANEXO IV. RELACIÓN DE FIGURAS, MAPAS Y TABLAS

CAPÍTULO 1

Figuras

Figura 1.2.1 Dominios espaciales de cálculo del modelo CHIMERE 17
Figura 1.2.2 Diagrama explicativo de la configuración de modelos utilizada para la evaluación de la calidad del aire en España a partir de 2008 18

CAPÍTULO 2

Tablas

Tabla 2.4.1 Costes económicos de tipo sanitario asociados a la contaminación atmosférica en los países miembro de la UE-25 (millones de euros) 27
Tabla 2.4.2 Costes económicos de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica en la UE-25 28
Tabla 2.4.3 Costes económicos de la mortalidad asociada a la contaminación atmosférica en la UE-25 28
Tabla 2.4.4 Valores límite y objetivo de contaminación atmosférica 30

CAPÍTULO 3

Figuras

Figura 3.1.1 Reducción *per cápita* del consumo de combustible con el incremento de la densidad urbana en diversas ciudades del mundo 34
Figura 3.2.1 Expansión urbana descontrolada en la Costa Mediterránea: sureste de España 1990-2000 35
Figura 3.3.1 Comparación de la concentración media de NO_2 por decilas entre áreas seleccionadas de Inglaterra y el total de Inglaterra 37

Figura 3.3.2 Barrios vulnerables de Madrid (2006) y niveles de NO_2 en estaciones de medida (2011). . . . 40
Figura 3.3.3 Barrios vulnerables de Madrid (2006) y niveles de PM_{10} en estaciones de medida (2011) . . . 41
Figura 3.3.4 Barrios vulnerables de Madrid (2006) y niveles de $PM_{2,5}$ en estaciones de medida (2011) . . . 42
Figura 3.3.5 Barrios vulnerables de Madrid (2006) y niveles de O_3 en estaciones de medida (2011) . . . 42
Figura 3.4.1 Contribución media de fuentes a las emisiones de NO_2 y PM_{10} anuales en la EU-27 según inventario de emisiones. Año 2009 . . . 47
Figura 3.4.2 Niveles de emisión de vehículos diesel de pasajeros EURO1 a 5 en circuitos urbanos de conducción reales y en el ciclo de conducción europeo . . . 49
Figura 3.4.3 Causas de incumplimiento de los valores límite de calidad del aire . . . 50
Figura 3.4.4 Causas de incumplimiento del valor límite anual de calidad del aire en NO_2 en España . . . 51
Figura 3.4.5 Turismos matriculados por km^2 en diferentes ciudades europeas . . . 52
Figura 3.4.6 Estructura urbana del centro de Amsterdam, Madrid y Barcelona (de arriba a bajo) . . . 53
Figura 3.5.1 Media ponderada con la a) población de la concentración media anual en relación con el límite 40 $\mu g/m^3$ de PM_{10} y con la b) población del número de días al año en el que se supera la concentración media diaria de 50 $\mu g/m^3$ de PM_{10} en los municipios españoles . . . 54
Figura 3.5.2 Media ponderada con la a) población de la concentración media anual de NO_2 en relación con el límite de 40 $\mu g/m^3$ y con la b) población del número de horas al año en el que se supera la concentración media horaria de 200 $\mu g/m^3$ de NO_2 en los municipios españoles . . . 55
Figura 3.5.3 Media ponderada con la población del número de días al año en el que se supera la concentración de O_3 de 120 $\mu g/m^3$ de máximo diario de medias móviles octohorarias en relación con el límite de 25 días. . . . 55
Figura 3.6.1 Esquema seguido para la evaluación de la calidad del aire conjugando los resultados de los modelos y las mediciones en estacones fijas . . . 60
Figura 3.6.2 Probabilidad de superación (%) del valor límite anual de SO_2 ($20\mu g\ m^{-3}$) en los años 2007 (arriba-izda), 2008 (arriba-dcha), 2009 (abajo-izda) y 2010 (abajo-dcha) . . . 61
Figura 3.6.3 Probabilidad de incumplimiento (%) del valor objetivo de O_3 ($120\mu g\ m^{-3}$ en media octohoraria) en los años 2007 (arriba-izda), 2008 (arriba-dcha), 2009 (abajo-izda) y 2010 (abajo-dcha) . . . 61
Figura 3.6.4 Probabilidad de superación (%) del valor límite anual de PM_{10} ($40\mu g\ m^{-3}$) en los años 2007 (arriba-izda), 2008 (arriba-dcha), 2009 (abajo-izda) y 2010 (abajo-dcha) . . . 62
Figura 3.6.5 Probabilidad de superación (%) del valor límite anual de NO_2 ($40\mu g\ m^{-3}$) en los años 2007 (arriba-izda), 2008 (arriba-dcha), 2009 (abajo-izda) y 2010 (abajo-dcha) . . . 63
Figura 3.6.6 Ejemplo de circulaciones de viento dentro de una plaza . . . 64
Figura 3.6.7 Ejemplo de “street canyon” y su distribución de contaminantes cuando el viento incide de manera perpendicular a la calle. a) Fotografía de una calle real de este tipo, b) esquema 2D de la calle y distribución de contaminantes, c) ejemplo de mapa de concentración (corte vertical) de una simulación de la dispersión de un contaminante dentro de una calle . . . 64
Figura 3.6.8 a) Imagen de la zona de Pamplona. b) Dominio numérico digitalizado de la zona de Pamplona . . . 65

Figura 3.6.9 Concentración promedio durante los eses estudiados normalizada con la concentración promedio en el punto marcado con el círculo en la plaza, es decir, la concentración normalizada sería 1 en el punto. 66
Figura 3.6.10 Contribución de las emisiones de cada calle a la contaminación en el área de estudio para un escenario con viento procedente del ESE 67
Figura 3.7.1 Distribución de parcelas de medidas desde la ciudad de Madrid hasta la Sierra de Guadarrama 69
Figura 3.7.2 Gradiente de contaminación atmosférica desde Madrid hacia la sierra de Guadarrama 70
Figura 3.7.3 Índice AOT40 (Accumulated exposure Over a Threshold of 40 ppb; índice de exposición al O_3 calculado como la suma durante las horas diurnas de las diferencias entre el promedio horario de concentración de O_3 y 40 ppb; 1 ppb= 1,96 µg m^{-3}) acumulado mensualmente para la estación de Cotos para el periodo 2005-2007 71
Figura 3.7.4 Índice de exposición que emplea la Directiva Europea para definir los umbrales de O_3 de riesgo para la salud humana expresado como la media diaria máxima de 8 horas. 72
Figura 3.8.1 Izquierda, evolución promedio sobre los puntos urbanos de AOT(Air) (línea continua) y de AOT(Mrt) (línea punteada), en función de la densidad de población. Derecha, Evolución del consumo energética por habitante debido a aire acondicionado en función de la densidad de población 80
Figura 3.8.2 Esquema explicativo del diferente comportamiento del consumo energético en función de la densidad urbana 81
Figura 3.8.3 Izquierda, evolución promedio sobre los puntos urbanos de AOT(Air) (línea continua) y de AOT(Mrt) (línea punteada), en función de la fracción de vegetación urbana para la ciudad de 25 km. Derecha, evolución del consumo energético por habitante debido a aire acondicionado en función de la fracción de vegetación urbana (ciudad de 25 km) 82
Figura 3.8.4 Dominios simulados con el modelo CHIMERE. 85
Figura 3.8.5 Cuarto dominio de simulación (enmarcado en rojo) y posición del Monte de El Pardo (en verde) 85
Figura 3.8.6 Diferencias de concentración de O_3 en aire (µg m^{-3}) entre los casos real y ficticio (sin El Pardo). 86
Figura 3.8.7 Diferencias en el depósito de O_3 para el periodo abril-septiembre entre los casos base y ficticio sin el Monte de El Pardo 87

Mapas

Mapa 3.5.1 Calidad del aire por zonas para los contaminantes PM_{10}, NO_2, O_3. Año 2010 56
Mapa 3.8.1 Regiones europeas agrupadas de acuerdo con los cambios climáticos proyectados. 73
Mapa 3.8.2 Olas de calor – tanto un bajo porcentaje de áreas urbanas verdes y azules como unas densidades de población elevadas pueden contribuir al efecto de isla de calor urbano en las ciudades de Europa 76

Tablas

Tabla 3.4.1 Superficies artificiales, 1987-2006 (CLC Nivel 3) 45
Tabla 3.4.2 Valores EURO de emisión para vehículos de pasajeros (Solamente aplicable a vehículos de inyección directa), valores en g/km. HC, hidrocarburos; NMHC, hidrocarburos no metánicos 48

Tabla 3.6.1 Concentración normalizada y número de superaciones sobre un valor límite virtual en los puntos 1, 2 y 3 (Figura 3.5.10) antes y después de la hipotética reorganización del tráfico 67
Tabla 3.8.1 Diferencia promedio en los parámetros climáticos de áreas construidas en comparación con las áreas rurales circundantes 75
Tabla 3.8.2 Variación porcentual de la demanda eléctrica media diaria producido por una variación de la temperatura en +/-1º C 78
Tabla 3.8.3 Parámetros utilizados en las simulaciones con ciudades de diferentes tamaños 80
Tabla 3.8.4 Parámetros utilizados en las simulaciones con ciudades de diferente fracción urbana 81

CAPÍTULO 4

Figuras

Figura 4.1.1 Pobreza energética y su impacto en salud en países en desarrollo 92
Figura 4.2.1 Efectos de la contaminación atmosférica en la salud 94
Figura 4.2.2 Impacto de las partículas en la Salud 97
Figura 4.3.1 Diagramas de dispersión entre la concentración media diaria de $PM_{2,5}$ y los ingresos hospitalarios por todas las causas. a) en niños de entre 0 y 1 año, b) en menores de 10 años 103
Figura 4.4.1 Niveles medios horarios de carbono negro (BC, mayoritariamente procedente del tráfico) registrados en el interior de aulas y en el exterior del colegio en días laborales y fines de semana en dos colegios de Barcelona. El superior corresponde a un colegio próximo al tráfico y el otro a un o alejado del tráfico 105
Figura 4.6.1 Anomalía térmica de la temperatura global del aire durante el último siglo y medio 124
Figura 4.6.2 Principales vías por las que el cambio climático puede afectar la salud de la población 125

Mapas

Mapa 4.4.1 Distribución espacial de los colegios de la ciudad de Londres situados a menos de 150 metros de una carretera con Intensidad Media Diaria mayor de 10.000 vehículos/día 106
Mapa 4.4.2 Localización del área de estudio, y de los centros educativos de la ciudad de Madrid 107
Mapa 4.4.3 Centros educativos de la ciudad de Madrid a una distancia menor de 150 metros y 400 metros de vías de comunicación con una IMD>10.000 veh/día 109
Mapa 4.4.4 Escuelas infantiles de la ciudad de Madrid a una distancia menor de 150 metros y 400 metros de vías de comunicación con una IMD>10.000 veh/día 110
Mapa 4.4.5 Estaciones de medida de calidad del aire en la ciudad de Madrid 111
Mapa 4.4.6 Ubicación de la estación de medida de calidad del aire de Plaza Fernández Ladreda y de los centros educativos cercanos –edificios en rojo–, que se encuentran a una distancia < de 150 metros de vías con IMD>10.000 vehículos/día 113
Mapa 4.4.7 Estación de $PM_{2.5}$ de Cuatro Caminos (en verde) y ubicación de los centros educativos (en rojo) 114

Mapa 4.4.8 Ubicación de la estación de medida de calidad del aire de Escuelas Aguirre y de los centros educativos cercanos, que se encuentran a una distancia < de 150 metros de vías con IMD>10.000 vehículos/día. 115

Mapa 4.4.9 Ubicación de las estaciones de medida de calidad del aire de O_3 en la ciudad de Madrid y número de días en que se superan los 120ug/m^3 117

Mapa 4.4.10 Número de muertes evitables por exposición a largo plazo a $Pm_{2,5}$ en España. En un escenario de reducción de los niveles de $PM_{2,5}$. Año base 2004 y año de control 2011. A) Numero absoluto de muertes evitables anuales, b) Tasa bruta de muertes evitables/100.000 habitantes. 118

Mapa 4.4.11 Centros educativos de la ciudad de Madrid a una distancia menor de 150 metros y 400 metros de vías de comunicación con una IMD > 40.000 veh./día. . . 118

Mapa 4.5.12 Número de muertes evitables por exposición a largo plazo a $PM_{2,5}$ en España. En un escenario de reducción de los niveles de $PM_{2,5}$. Año base 2004 y año de control 2011. a) Número absoluto de muertes evitables anuales,b) Tasa bruta de muertes evitables/100.000 habitantes. 123

Tablas

96

Tabla 4.2.1 Efectos de la exposición agudas y crónicas a las Partículas en Suspensión. . .

Tabla 4.4.1 Número de centros educativos y de centros con educación infantil, y número de alumnos, según distancia a vías de comunicación con IMD mayor de 10.000 y 40.000 vehículos/día 108 112

Tabla 4.4.2 Estaciones de medida de NO_2 en la ciudad de Madrid 114

Tabla 4.4.3 Estaciones de medida de $PM_{2.5}$ en la ciudad de Madrid 114

Tabla 4.4.4 Estaciones de medida de PM_{10} en la ciudad de Madrid. 116

Tabla 4.4.5 Estaciones de medida de O_3 en la ciudad de Madrid . . . . . .

Tabla 4.5.1 Estimaciones de Apheis 3 sobre los beneficios potenciales de los distintos escenarios de reducción de niveles de exposición a contaminantes en términos de reducción de muertes prematuras. 120

Tabla 4.5.2 Beneficios potenciales de la reducción de los niveles de PM_{10} en ciudades europeas (proyecto Enhis), Números absolutos y tasas de mortalidad (por 100.000 niños 121

Tabla 4.5.3 Beneficios potenciales de la reducción de los niveles de PM_{10} en ciudades europeas (proyecto Enhis), Fracciones atribuibles e Intervalos de Confianza (IC) al 95% 121

Tabla 4.5.4 Beneficios potenciales de la reducción de los niveles de ozono diarios, fracciones atribuibles e intervalos de confianza (IC) al 95%. 122

Tabla 4.5.5 Beneficios potenciales por la reducción de niveles de $PM_{2,5}$ en la Península Ibérica en términos de muertes atribuibles y tasas por 100.000 habitantes. . . . 122

CAPÍTULO 5

Tablas

139

Tabla 5.4.1 Municipios con planes de mejora de la calidad del aire. Año 2012. . . . . .

ANEXOS

Tablas

Tabla I.1 Concentraciones de Partículas, Ozono y NO_2 recomendados y objetivos..... 151
Tabla I.2 Valores Límite y umbrales de alerta para la calidad del aire..... 152
Tabla I.3 Valores Límite y Objetivo para la calidad del aire fijados por el Real Decreto 1073/2002 (para el No_2, SO_2, O_3 y PM_{10}), Real Decreto 1796/2003 (para el Ozono) y Directiva 107/2004/CE 152

ANEXO V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS *et al*, (1985). "An assessment of the economic effects os ozone on US agriculture". *Journal of the air pollution control association,* Vol. 35, pp. 938-943.

AEA TECHNOLOGY (1999). *Economic valuation of air quality limits for CO and benzene.* Contract report for European Commission DG XI.

AEA Technology Environment (2005). *Damages per tonne emission of $PM_{2,5}$, NH_3, NOX and VOCs from each EU25 Member state* (excluding Cyprus) and surrounding seas.

AEA Technology Environment (2005). "Methology for the cost benefit analysis for CAFÉ": Volume 1: *Overview of Methodology.*

ALEKSANDRA KAZMIERCZAK and JEREMY CARTER, University of Manchester. *Adaptation to climate change using green and blue infrastructure. A database of case studies* June 2010 http://www.grabs-eu.org/membersArea/files/Database_Final_no_hyperlinks.pdf

ALONSO, R., BERMEJO, V., ELVIRA, S., SANZ, J., GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, I., FERNÁNDEZ PATIER, R., GIMENO, B.S. (2009). "La Contaminación Atmosférica en la Sierra de Guadarrama. Riesgos Potenciales para la Vegetación". In: *Sextas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y el Valle del Paular.* Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid, pp. 63-85.

ALONSO, R., BYTNEROWICZ, A. (2003) "Monitoring and modeling of ozone status and effects in the Sierra Nevada: a comparison with studies in North America and Europe". In: *Ozone Air Pollution in the Sierra Nevada* – Distribution and Effects on Forests. Bytnerowicz A, Arbaugh M, Alonso R., editors. Elsevier Science Ltd. pp. 371-389.

ALONSO, R., VIVANCO, M.G., GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, I., BERMEJO, V., PALOMINO, I., GARRIDO, JL., ELVIRA, S., SALVADOR, P., ARTÍÑANO, B. 2011. "Modelling the influence of peri-urban trees in the air quality of Madrid region (Spain)". *Environmental Pollution* 159, 2138-2147.

AMATO, F., QUEROL, X., ALASTUEY, A., PANDOLFI, M., MORENO, T., GRACIA, J., RODRÍGUEZ, P. "Evaluating urban PM_{10} pollution benefit induced by street cleaning activities". *Atmospheric Environment.* 43, 29, 2009, 4472-4480.

ARNFIELD, A.J. (2003) "Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water and the urban heat islan". *International Journal of Climatology,* 23: 1-26.

Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. EL ANILLO VERDE INTERIOR. Hacia una Infraestructura Verde Urbana en Vitoria-Gasteiz. , Documento de trabajo, marzo 2012.

AZQUETA, D. (1996). *Valoración económica de la calidad ambiental*. Mc Graw-Hill.

BAARSMA, B., LAMBOOY, J. G. (2005). "Valuation of externalities through noe-classical methods by including institutional variables". *Transportation research part D*, Vol. 10, pp. 459-475.

BALLESTER, F., RODRÍGUEZ, P., IÑIGUEZ, C., SAEZ, M., DAPONTE, A., GALÁN, I. *et al. "*Air pollution and cardiovascular admissions in Spain: results within the EMECAS Project". *J. Epidemiol community Health*, 2006; 60:328_1860-6. Citado en *Cambio Global España 2020/2050. Cambio climático y salud.*

BALLESTER, F. (2012) *"*Contaminación Atmosférica y Cambio climático" *(*pp 190-210). En *Cambio Global España 2020/2050. Cambio climático y salud.*

BELL, M.L., MCDERMOTT, A., ZEGEL, S.L., SAMET, J.M., DOMINICI, F. "Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities", 1987-2000. JAMA 2004, 292:2372-9. En *Cambio Global España 2020/2050. Cambio climático y salud* (pp 190-210).

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, núm. 260, de 30 de octubre de 2002, páginas 38020 a 38033. España Real Decreto 1073/2002, de 18 de octubre, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, núm. 11, de 13 de enero de 2004, páginas 1071 a 1081. España Real Decreto 1796/2003, de 26 de diciembre, relativo al ozono en el aire ambiente.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, núm. 275 de 16 de noviembre de 2007, páginas 46962 a 46987. España. Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, núm. 24, de 28 de enero de 2008, páginas 5061 a 5090. España. ORDEN PRE/77/2008, de 17 de enero, por la que se da publicidad al Acuerdo de Consejo de Ministros por el que se aprueba el Plan Nacional de Reducción de Emisiones de las Grandes Instalaciones de Combustión existentes.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, núm. 228, de 23 de septiembre de 2003, páginas 34828 a 34837. España. Resolución de 11 de septiembre de 2003, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo de 25 de julio de 2003, del Consejo de Ministros, por el que se aprueba el Programa nacional de reducción progresiva de emisiones nacionales de dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles (COV) y amoniaco (NH_3).

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, núm. 25, de 29 de enero de 2008, páginas 5254 a 5262. España. Resolución de 14 de enero de 2008, de la Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y el Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo de 7 de diciembre de 2007, del Consejo de Ministros, por el que se aprueba el II Programa Nacional de Reducción de Emisiones, conforme a la 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.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, núm. 25, Martes, 29 de enero de 2008, páginas 5254 a 5262. España. Resolución de 14 de enero de 2008, de la Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y el Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo de 7 de diciembre de 2007, del

Consejo de Ministros, por el que se aprueba el II Programa Nacional de Reducción de Emisiones, conforme a la 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.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, núm. 55, Sábado, 5 de marzo de 2011. Sec. I. páginas 25033 a 25235. España. Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, núm. 282, de 25 de noviembre de 2006, páginas 41320 a 41440. España. Real Decreto 1370/2006, de 24 de noviembre, por el que se aprueba el Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008-2012.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, núm. 150, de 24 de junio de 2006, páginas 24001 a 24004. España. Real Decreto 777/2006, de 23 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 1866/2004, de 6 de septiembre, por el que se aprueba el Plan nacional de asignación de derechos de emisión, 2005-2007.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, núm. 25, páginas. 9574-9625. España. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, núm 157, páginas 23910 a 23927. España. Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación.

BONAN, G.B. 2002. *Ecological Climatology: Concepts and Applications*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

BUTTERWORTH, J.A., MCINTYRE, P., DA SILVA WELLS, C. (Eds.). (2011). *Switch in the City: putting urban water management to the test,* IRC International Water and Sanitation Centre, The Hague, The Netherlands. Climate Adaptation Strategy The City of Malmö_Malmö Stad.

BYTNEROWICZ, A., FENN, M.E., MILLER, P.R., ARBAUGH, M.J. (1999). "Wet and dry pollutant deposition to the mixed conifer forest". En: Miller PR, McBride JR (eds.), *Oxidant air pollution impacts in the montane forests of southern California*. Springer, Ecological Series, Vol. 134, New York, 235-269.

BYTNEROWICZ, A., TAUSZ, M., ALONSO, R., JONES, D., JOHNSON, R., GRULKE, N. (2002). "Summertime distribution of air pollutants in the Sequoia National Park, California". *Environmental Pollution* 118: 187-203.

CLEAN AIR LONDON (2012): *Guide to health impacts. "Invisible" air pollution: the biggest public health failing or "cover-up" for decades*, disponible en: http://cleanairinlondon.org/wp-content/uploads/CAL-186-Guide-to-health-impacts4.pdf

COM (2007): *Libro Verde. Hacia una cultura de la movilidad urbana*.

COM (2009) 147 final. *Libro Blanco. Adaptación al cambio Climático: Hacia un marco europeo de actuación*. Bruselas, 01.04.2009.

Communities and Local Government de Reino Unido, disponible en: http://www. communities.gov.uk/ Comunidad de Madrid. Consejería de Medio Ambiente y Ordenacón del Territorio. Estrategia de Calidad del Aire y Cambio Climático de la Comunidad de Madrid (2006-2012). Plan Azul. http://www.madrid.org/cs/Satellite?idConsejeria=1109266187260&idListConsj=1109265444710&c=CM_Planes_FA&pagename=ComunidadMadrid%2FEstructura&sm=1109265843983&language=es&cid=1114187099946

COMUNIDAD DE MADRID. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la Comunidad de Madrid para el Corredor del Henares.* http://www.ma-

grama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/PCA_CM_Corredor_del_Henares_2-12-11_tcm7-187778.pdf

COMUNIDAD DE MADRID. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la Comunidad de Madrid para la aglomeración Urbana Sur*. http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/PCA_CM_Zona_Urbana_Sur_2-12-11_tcm7-187777.pdf

CZARNECKA, M. & NIDZGORSKA-LENEWICZ, J. (2011) *Impact of weather conditions on Winter and summer air quality.* Int. Agrophys. 25: 7-12.

DADVAND, P., BASAGAÑA, X., FIGUERAS, F., AMOLY, E., TOBÍAS, A., DE NAZELLE, A., *et al*. "Saharan dust episodes and pregnancy". *J Environ Monit* 2011;13:3222-3228.

Declaración de la conferencia de las naciones unidas sobre el medio humano de Estocolmo. 16 de junio de 1972.

DECRETO 78/2009, de 29 de octubre, por el que se aprueba el Plan de Actuación para la reducción de material particulado en la zona atmosférica de Miranda de Ebro. *Boletín Oficial de Castilla y León* núm 211 de 04-11-2009, páginas 2 a 49.

DECRETO 79/2009, de 29 de octubre, por el que se aprueba el Plan de Actuación para la Mejora de la Calidad del Aire en la Zona Atmosférica de La Robla. *Boletín Oficial de Castilla y León* de 04-11-2009, páginas 50 a 80.

DEFRA (2006): *Air Quality and Social Deprivation in the UK: an environmental inequalities analysis*, AEAT/ENV/R/2170, junio 2006, disponible en: http://cleanairinlondon.org/wp-content/uploads/CAL-164-Defra_AQ-inequalities-analysis_080606.pdf

DELGADO JIMÉNEZ, A. (2012): *Evolución y crisis de la Región Metropolitana de Madrid 1985-2007. Análisis de las diversas perspectivas para la transformación del gobierno urbano: Una Revisión crítica del Planeamiento.* Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Tutor: Fernando Roch Peña.

DELUCCHI, M.A., MURPHY, J.J., MCCUBBIN, D.R. (2001). "The health and visibility cost of air pollution: a comparison of estimation methods". *Journal of Environmental Management*, Vol. 64, Pp. 139-152.

DÍAZ, J., TOBÍAS, A., LINARES, C. "Saharan dust and association between particulate matter and case-specific mortality: a case-crossover analysis en Madrid (Spain)". *Environ Health* 2012;11:11.

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de Bahía de Cádiz*. 2010 http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la Aglomeración de Córdoba.* 2010. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de de la Aglomeración de Granada y Área Metropolitana.* 2010. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/

menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de Bahía de Cádiz*. 2010. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la Aglomeración de Málaga y Costa del Sol*. 2010. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la Zona Industrial Bahía de Algeciras*. 2010. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire del municipio de Bailén*. 2010. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de 2010*. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la Aglomeración de Sevilla y Área Metropolitana*. 2010. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de El Ejido*. 2010. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la Zona industrial de Huelva*. 2010. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de Cuevas de Almanzora*. 2010.

http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de Jaén y Torredonjimeno*. 2010. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DECRETO 334/2010, de 13 de julio, por el que se aprueba el *Plan de Mejora, Control y seguimiento de la calidad del aire en el municipio de Villanueva del Arzobispo (Jaén)*. BOJA núm. 147 de 28 de julio 2010. Páginas 41 a 67. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. Plan de Mejora de la Calidad del Aire de Almería. 2010. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Zona Industrial de Carboneras*. 2010. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de Jaén y Torredonjimeno*. 2010. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE JUNTA DE ANDALUCÍA. *Plan de Mejora de la Calidad del Aire de Jérez de la Frontera.* http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.220de8226575045b25f09a105510e1ca/?vgnextoid=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnextchannel=ad614e5bf01f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD

DIRECCIÓN GENERAL DE MEDIO AMBIENTE, CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE DE CANTABRIA Y UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. *Plan de calidad del aire de Cantabria* 2006-2012. 2010.

EC (2000) Regulation (EC) No 1980/2000 of the European Parliament and of the Council of 17 July 2000 on a revised Community eco-label award scheme.

ECODES nº 2. (2010). *Estado de la Cuestión. Contaminación Atmosférica y Salud.*

EEA (2006): *Urban sprawl – The ignored challenge.* EEA Report nº 10/2006.

EEA (2006) *Urban sprawl in Europe: the ignored challenge,* EEA Report No 10/2006, European Environment Agency.

EEA (2010a) Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe – An overview of the last decade, EEA Technical report No 13/2010, European Environment Agency.

EEA (2010b) The European environment – state and outlook 2010: Thematic assessment – Air pollution, European Environment Agency.

EEA (2010). Reporting on ambient air quality assessment in the EU Member States, 2008. ETC/ACC Technical Paper 2010/11. http://acm.eionet.europa.eu/reports/ETCACC_TP_2010_11_AQQ2008

EEA (2011). European Union emission inventory report 1990–2009 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP). European Environmental Agency Technical Report N. 9/2011. http://acm.eionet.europa.eu/reports/EEA_TR_9_2011_EU_CLRTAP_em_inv

EEA (2011) *Green infrastructure and territorial cohesion: The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems. Technical report No 18/2011*. Copenhagen: European Environment Agency

EEA, JRC and WHO (2008) *Impacts of Europe's changing climate: 2008 indicator-based assessment,* EEA Report No 4/2008, European Environment Agency.

EEA Report No 2/2012. *Guide to Climate Change Adaptation in Cities.*

EEA Report No 4/2008. *Impacts of Europe's changing climate_ 2008 indicator-based assessment*

EUROSTAT (2012) *Urban Audit* (http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/region_cities/city_urban) accessed 29 March 2012.

ExternE. *External Costs of Energy* http://www.externe.info/externe_2006.

FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE MUNICIPIOS Y PROVINCIAS (FEMP). *Guía de buenas prácticas Sobre la calidad del aire,* 2012.

FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE MUNICIPIOS Y PROVINCIAS (FEMP). *La Estrategia Española de Movilidad Sostenible y los Gobiernos Locales.* 2012.

FEZER, F. (1995) Das Klima der Städte. Justus Perthes Verlag Gotha, Gotha. Germany.

FUMAGALLI, I., GIMENO, B.S., VELISSARIOU, D., MILLS, G., DE TEMMERMAN, L., FUHRER, J. (2001) "Evidence of ozone-induced adverse effects on Mediterranean vegetation". *Atmospheric Environment* 35: 2583-2587.

FUNDACIÓN MOVILIDAD (2009): "Infraestructuras de gestión", *Plataforma de Sostenibilidad Urbana y Territorial del OSE,* disponible en: http://www.sostenibilidad-es.org/es/plataformas-de-comunicacion/sostenibilidad-urbana-y-territorial/movilidad/infraestructuras-y-transporte/infraestructuras-de.

GALÁN MADRUGA, R., FERNÁNDEZ PATIER, R., DÍAZ RAMIRO, E., HERCE GARRALETA, M.D. (2001) "Estudio de las concentraciones de ozono superficial en la atmósfera de la Comunidad de Madrid usando muestreadores pasivos". *Revista de Salud Ambiental* 1: 20-29.

GARCÍA, J., HERNÁNDEZ, A., BLASCO, A., RODRÍGUEZ, B.C., RONCAÑO, E., NÚÑEZ, S. "Invasión de viento sahariano y su impacto en la asistencia sanitaria urgente". *Emergencias* 2001;13:372-376.

GENERALITAT DE CATALUÑA. Departamento de Territorio y Sostenibilidad. Plan para la Mejora de la Calidad del Aire en Barcelona 2007-2010. http://www20.gencat.cat/portal/site/mediambient/menuitem.718bbc75771059204e9cac3bb0c0e1a0/?vgnextoid=6e27718501a27210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnextchannel=6e27718501a27210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&newLang=es_ES.

GENERALITAT VALENCIANA. Instituto de Ciencias de la Tierra 'Jaume Almera', CSIC Instituto de Tecnología Cerámica, Universitat Jaume I Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge, Generalitat Valenciana. Plan de Mejora

de la Calidad del Aire de l'alacantí occidental. Zona ES1013: Segura-Vinalopó (A. Costera) y Aglomeración ES1017: Alacant. 2008 http://www.cma.gva.es/web/indice.aspx?nodo=58812&idioma=C

GENERALITAT VALENCIANA. Instituto de Ciencias de la Tierra 'Jaume Almera', CSIC Instituto de Tecnología Cerámica, Universitat Jaume I Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge, Generalitat Valenciana. Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la Zona ES1003: Mijares-Penyagolosa (A. Costera) y Aglomeración ES1015: Castelló. Zona cerámica de Castellón. 2008 http://www.cma.gva.es/web/indice.aspx?nodo=58812&idioma=C

GEROSA, G., SPINAZZI, F., BALLARIN, DENTI, A. (1999). "Tropospheric ozone in alpine forest sites: air quality monitoring and statistical data analysis". *Water Air and Soil Pollution* 116: 345-350.

GILBERT, O.L. (1991) The Ecology of Urban Habitats. Chapman & Hall, London, UK.

GLA (Greater London Authority) (2012) *Green infrastructure and open environments: the All London Green Grid.* Disponible en: http://www.london.gov.uk/sites/default/files/ALGG_SPG_Mar2012.pdf

GOBIERNO DE CANARIAS. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial. Plan de actuación de calidad del aire de la comunidad autónoma de canarias. http://www.gobiernodecanarias.org/opencms/export/sites/piac/_recursos/galerias/galeriaDescargas/piac/Documentos/Atmosfera/plan_actuacion_c_a.pdf

GOBIERNO VASCO. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Unidad de Medio Ambiente Urbano e Industrial *Plan de Acción de calidad del aire de Alto Deba*. http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/contenidosalto_deba.html

GOBIERNO VASCO. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Unidad de Medio Ambiente Urbano e Industrial. *Plan de Acción de calidad del aire de Duranguesado*. http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/contenidosduranguesado.html

GOBIERNO VASCO. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Unidad de Medio Ambiente Urbano e Industrial. *Plan de Acción de calidad del aire de Bajo Nervión.* http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/contenidosbajo_nervion.html

GOBIERNO VASCO. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Unidad de Medio Ambiente Urbano e Industrial. *Plan de Acción de calidad del aire de Goierri*. http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/contenidosgoierri.html

GOBIERNO VASCO. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Unidad de Medio Ambiente Urbano e Industrial. *Plan de Acción de calidad del aire de Pasaialdea*. http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/contenidospasaialdea.html

GOBIERNO VASCO. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Unidad de Medio Ambiente Urbano e Industrial. *Plan de Acción de calidad del aire de Urola Medio*. http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/contenidosurola_medio.html

GOBIERNO VASCO. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Unidad de Medio Ambiente Urbano e Industrial. *Plan de Acción de calidad del aire de Tolosaldea*. http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/contenidostolosaldea.html

GOBIERNO VASCO. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Unidad de Medio Ambiente Urbano e Industrial. *Plan de Acción de calidad del aire de Barrio de Betoño de Vitoria Gateiz*. http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-3614/es/contenidos/plan_programa_proyecto/planes_aire/es_plan/betono.html

GOBIERNO VASCO. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Unidad de Medio Ambiente Urbano e Industrial. *Plan de Acción de calidad del aire de Lemona*. http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-3614/es/contenidos/plan_programa_proyecto/planes_aire/es_plan/lemona.html

GOEDKOOP, M., SPRIENSMA, R. (1999) *The eco-indicator 99. A damage oriented method for life cycle impact assessment. Methodology report*, Pré Consultants B. V., 1999.

GOVERN DE LES ILLES BALEARS. Consejería de Agruicultura. Medio Ambietne y Territorio, Pla de millora de qualitat de l'aire de palma 2008. http://www.caib.es/sacmicrofront/contenido.do?cont=14196&mkey=M145&&lang=es

GREIVING, S. *et al* (2011) *Espon Climate. Climate change and territorial effects on regions and local economies*, Dortmund.

GRELL, G.A., DUDHIA, J., STAUFFER, D.R., 1995. *A Description of the Fifth-Generation Penn State/ NCAR Mesoscale Model (MM5).* NCAR/TN-398 + STR. NCAR TECHNICAL NOTE.

GRIFFIN, D.W. 2007. "Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health". *Clinical Microbiology Reviews* 20: 459-477.

GRYPARIS, A., FORSBERG, B., KATSOUYANNI, K., ANALISITIS, A., TOULOMI, G., SCHWARTZ, J. *et al. "*Acute effect of Ozone on mortality from the "air pollution and health: A European approach" project Am". *J. Respit Crit Care Med.* 2004. 170: 1080-7.

HAUGLUSTAINE, D.A., HOURDIN, F., JOURDAIN, L., FILIBERTI, M.-A., WALTERS, S., LAMARQUE, J.-F., HOLLAND, E.A., 2004. "Interactive chemistry in the Laboratoire de Météorologie Dynamique general circulation model: Description and background tropospheric chemistry evaluation", *Journal of Geophysical Research* 109, doi: 10.1029/2003JD003957.

HEIDT, V. y NEEF, M. (2008) "Benefits of urban green space for improving urban climate". En M.M. Carreiro *et al* (eds.) *Ecology, Planning and Management of Urban Forests: International Perspectives*. Springer: 84-96.

HOLLAND *et al*, (2002). *Economic assessment of crop yield losses from ozone exposure*. Contract EPG 1/3/170, UK Natural Environmental Research Council, as a contribution to thte UNECE International Cooperative Programme on Vegetation. http://www.airquality.co.uk/archive/reports/cat10/final_oxone_ecooon_report_ver2.pdf

ICP /MM (2004). *Mapping manual revision*. United Nations Economic Commission for Europe, ICP Mapping and Modelling. http://www.oekodata.com/icpmapping/html7manual.html

ICP MATERIALS (2003). *Dose-response functions.* http://www.corr-institute.se/ICP-materials/htaml/dose_response.html

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y EL AHORRO DE LA ENERGÍA. Ministerio de industria Comercio y Turismo (2007). *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4)*

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y EL AHORRO DE LA ENERGÍA. Ministerio de industria Comercio y Turismo (2007). *Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España.*

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y EL AHORRO DE LA ENERGÍA. Ministerio de industria Comercio y Turismo (2008). *Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020.* Aprobado por Acuerdo del Consejo de Ministros de 11 de noviembre de 2011.

JIMÉNEZ, E., LINARES, C., MARTÍNEZ, D., DÍAZ, J. "Role of Saharan dust in the relationship between particulate matter and short-term daily mortality among the elderly in Madrid (Spain)". *Sci Tot Envrion* 2010; 408:5729-5736.

JUNTA DE COMUNIDADES DE CASTILLA LA MANCHA. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. Dirección General de Evaluación Ambiental. *Programa de Reducción de Partículas PM10 en Puertollano*. http://pagina.jccm.es/medioambiente/rvca/pdfs/Prog_reduccion_PM10_ptollano.pdf

JUNTA DE COMUNIDADES DE CASTILLA LA MANCHA. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. Dirección General de Evaluación Ambiental. *Programa de Reducción de Dióxido de Azufre en Puertollano.* http://pagina.jccm.es/medioambiente/rvca/pdfs/programa_reduccion_so2_puertollano.pdf

KEENAN**,** T., NIINEMETS, U., SABATÉ, S., GRACIA**,** C., PEÑUELAS**,** J.**,** 2009. "Process based inventory of isoprenoid emissions from European forests: model comparisons, current knowledge and uncertainties". *Atmospheric Chemistry and Physics* 9**,** 4053-4076.

KOVATS, R.S. y HAJAT, S. (2008) "Heat stress and public health: A critical review". *Annual Review of Public Health,* 29(1) 41–55.

KWAK, S., YOO, S., KIM, T. (2001). "A constructive approach to air-quality in Korea". *Ecological Economics,* Vol. 38, pp. 327-344.

LEMES, FABIANO (2011). "New eco-cities, new open spaces: the future of green and blue infrastructures". In: *Proceedings of UIA2011* Tokyo: the 24th World Congress of Architecture. International Union of Architects (UIA), Lausanne, pp. 59-64.

LIPIETZ, ALAIN (1990): *Une approche regulacionniste sur le futur de l´ecologie urbaine. Konferenz Die Zukunft des Städtischen*. Stadträum, Francfurt.

LÓPEZ, E., PÉREZ, M.D., PÉREZ, N., BALLESTER, F., ÍÑIGUEZ, C., PITA, M.L. "Caracterización del ambiente atmosférico en las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife de 2000 a 2004". *Rev Esp Salud Pública* 2008; 82: 493-507.

LÓPEZ ZAFRA y coautores. 2005, "Impactos sobre el sector Energético", en *Evaluación preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*, disponible en http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/evaluacion_preliminar_impactos_completo_2_tcm7-12439.pdf

MARIANO BRIONES GONZÁLEZ. Delegación de Medio Ambiente. Ayuntamiento de Sevilla. Evaluación de los planes de mejora de la calidad del aire en Sevilla. CONAMA 9. 15 diciembre 2008.

MARTILLI, A., CLAPPIER, A., and ROTACH M. W. 2002. "An urban surface Exchange parameterization for mesoscale models". *Bound.-Layer Meteorol.,* 104: 261-304.

MILLÁN, M.M., MANTILLA, E., SALVADOR, R., CARRATALA, A., SANZ, M.J., ALONSO, L., GANGOITI, G., NAVAZO, M. (2000). "Ozone cycles in the western Mediterranean basin: Interpretation of monitoring data in complex coastal terrain". *Journal of Applied Meteorology* 39: 487-508.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. *Estrategia española de cambio climático y energía limpia*, horizonte 2007-2012-2020. Aprobada por Consejo de Ministros de 2 de noviembre de 2007.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. *Plan Nacional de Mejora de la Calidad del Aire (PNMCA).*

MONZÓN, A., GUERRERO, M. J. (2004). "Valuation of social and health effects of transport-related air pollution in Madrid (Spain)". *Science of the Total Environment,* Vol. 334-335, Pp. 427-434.

NAVRUD, S. and R. READY, *eds*. (2002). *Valuing cultural heritage. Applying environmental valuation techniques to historical buildings and monuments.* Edward Elgar Publishing Uk.

NAWROT, T.S., NACKAERTS K., HOET, P.H.M. Y NEMERY, B. (2007) "Lung cancer mortality and fine particulate air pollution in Europe", *International Journal of Cancer,* 120(8) 1 825–1 826.

Neighbourhood Statistics, Office for National Statistics, Reino Unido, disponible en: http://www.neighbourhood.statistics.gov.uk/dissemination/

OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION. Directive 2008/50 CE of the European Parliament and Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. 11 June 2008. L152/1-L152/44.

OLSZYK *et al*, (1988). "Crop loss assessment for California. Modelling losses with different ozone standard scenarios". *Environnemental Pollution,* Vol. 53, Pp.303-311.

PALACIOS, M., KIRCHNER, F., MARTILLI, A., CLAPPIER, A., MARTÍN, F., RODRÍGUEZ, M.E. (2002). "Summer Ozone Episodes in the Greater Madrid Area: Analysis of the Ozone Response to Abatement Strategies by Modelling". *Atmospheric Environment* 36: 5323-5333.

PALACIOS, M., MARTÍN, F., ACENA, B. (2005). "Estimate of potentially high ozone concentration areas in the centre of the Iberian Peninsula". *International Journal of Environment and Pollution* 24: 260-271.

PLAZA, J., PUJADAS, M., ARTÍÑAANO, B. (1997). "Formation and transport of the Madrid ozone plume". *Air and Waste Management Association* 47: 766-774.

MORENO, J.M.; *Evaluación preliminar de los impactos en España por el efecto del Cambio Climático,* Ed. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, 2006.

OBSERVATORIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN ESPAÑA-OSE (2007): *Calidad del aire en las ciudades españolas: clave de sostenibilidad urbana.* Editorial Mundiprensa.

OBSERVATORIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN ESPAÑA-OSE (2010): *Sostenibilidad en España 2010.* Editorial Mundiprensa.

OBSERVATORIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN ESPAÑA-OSE (2011): *Sostenibilidad en España 2011.* Editorial Mundiprensa.

OBSERVATORIO DE LA VULNERABILIDAD URBANA (2011a): *Análisis urbanístico de Barrios Vulnerables,* Ministerio de Fomento, disponible en: http://siu.vivienda.es/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=85&Itemid=129&lang=es

OBSERVATORIO DE LA VULNERABILIDAD URBANA (2011B): *Descripción del estudio y la metodología,* Ministerio de Fomento, disponible en: http://siu.vivienda.es/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=86&Itemid=130&lang=es

OBSERVATORIO DE LA VULNERABILIDAD URBANA (2011C): *Análisis urbanístico de Barrios Vulnerables en España Síntesis Metodológica y Créditos 1991*, Ministerio de Fomento, disponible en: http://siu.vivienda.es/siu/infoWeb/barrios/enlaces/20110610_SINTESIS_METODOLOGICA_CREDITOS_1991.pdf

OBSERVATORIO DE LA VULNERABILIDAD URBANA (2011D): *Análisis urbanístico de Barrios Vulnerables en España Síntesis Metodológica y Créditos 2001*, Ministerio de Fomento, disponible en:

http://siu.vivienda.es/siu/infoWeb/barrios/enlaces/20110610_SINTESIS_METODOLOGICA_CREDITOS_2001.pdf

OBSERVATORIO DE LA VULNERABILIDAD URBANA (2011e): *Análisis urbanístico de Barrios Vulnerables en España Síntesis Metodológica y Créditos 2006*, Ministerio de Fomento, disponible en: http://siu.vivienda.es/siu/infoWeb/barrios/enlaces/20110610_SINTESIS_METOD_ADENDA_2006.PDF

OBSERVATORIO DE LA VULNERABILIDAD URBANA (2011f): *Análisis urbanístico de Barrios Vulnerables en España Informe General Adenda 2006*, Ministerio de Fomento, disponible en:

http://siu.vivienda.es/siu/infoWeb/barrios/enlaces/20110610_INFORME_GENERAL_ADENDA_2006.pdf

OKE, T.R. (1982) "The energetic basis of the urban heat island', *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society,* 108(455) 1-24.

OMS (2005) *Effects o fair pollution on children´s health and development. A review of the evidence* OMS (2006) *Ambientes saludables y prevención de enfermedades. Hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente.*

OMS *European Region. Air quality and Health. disponible en http://www.euro.who.int/air*

OMS, (2005) *The health effects of Indoor air pollution exposure in developing countries.*

OMS, (2007). *Energía Doméstica y salud. Combustibles para una vida mejor.*

OMS. *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.* Actualización mundial 2005. http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf

ORDEN de 12 de septiembre de 2008, del Consejero de Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo de 9 de septiembre de 2008, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Plan de Mejora de la Calidad del Aire en relación a los niveles de inmisión de partículas en suspensión en el municipio de Alcañiz. *Boletín Oficial de Aragón* núm. 150 de 19/09/2008. páginas 19033 a 19103. http://www.aragonaire.es/moreinfo.php?n_action=plans.

ORDEN de 17 de diciembre de 2008, por la que se aprueba el Plan de Actuación de Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma de Canarias. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial. *Boletín Oficial de Canarias* núm. 7, de 13 de enero de 2009. páginas 891 a 893.

ORDEN MED/10/2008, de 17 de junio, por la que se aprueba el Plan de Mejora de la Calidad del Aire en el municipio de Los Corrales de Buelna para PM_{10}. *Boletín Oficial de Cantabria,* núm. 123 de 25 de junio de 2008. Páginas 8746 a 8810.

PARRA, M.A., SANTIAGO, J.L., MARTÍN, F., MARTILLI, A., SANTAMARÍA, J.M., 2010. "A methodology to urban air quality assessment during large time periods of winter using computational fluid dynamic models". *Atmospheric Environment,* 44, 2089-2097.

PASSANT, N.R., 2002. *Speciation of UK emissions of non-methane volatile organic compounds*. AEAT/ENV/R/0545 Issue 1.

PÉREZ, L., TOBÍAS, A., QUEROL, X., KÜNZLI, N., PEY, J., ALASTUEY, A. *et al. Epidemiology* 2008; 19:1-8.

PÉREZ, L., TOBÍAS, A, QUEROL, X., PEY, J., ALASTUEY, A., DÍAZ, J. "Saharan dust, particulate matter and cause specific mortality: a case-crossover study in Barcelona (Spain)". *Environ Int.* In Press.

PLANNING POLICY STATEMENT 12 (PPS12) *Creating strong safe and prosperous communities through Local Spatial Planning*. England, 2008

POWE, N.A., WILLIS, K.G. (2004). "Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO2 and PM10) absorption attributable to woodland in Britain". *Journal of Environmental Management,* Vol. 70, Pp. 119-128.

QUEROL, X., ALASTUEY, A., MORENO, T., VIANA, M., CASANOVA, KINDELÁN, J., PÉREZ, L., SUNYER, J., KÜNZLI, N. Calidad del aire urbano, salud y tráfico rodado. Fundación Gas Natural.

QUEROL, X., PEY, J., PANDOLFI, M., ALASTUEY, A., CUSACK, K., PÉREZ, N., *et al*. "African dust contributions to mean ambient PM10 mass-levels across the Mediterranean Basin". *Atmos Environ* 2009; 43:4266-77.

QUEROL, X., VIANA, M., MORENO, T., ALASTUEY, A., PEY, J., AMATO, F., PANDOLFI, M., MINGUILLÓN, M.C., RECHE, C., PÉREZ, N., GONZÁLEZ, A., PALLARES, M., MORAL, A., MONFORT, E., ESGRIG, A., CRISTÓBAL, A., HERNÁNDEZ, I., MIRO, J.V., JIMÉNEZ, S., REINA, F., JABATO, R., BALLESTER, F., BOLDO, E., BELLIDO, J. 389. *Bases científico-técnicas para un Plan Nacional de Mejora de la Calidad del Aire.* Colección Informes CSIC, n.3. ISBN 978-84-00-09475-1, 349 pp.

RAMSAR TECHNICAL REPORT No. 6 (2012). *Healthy wetlands, healthy people. A review of wetlands and human health interactions.*

READY, R. *et al* (2004). "Benefit transfer in Europe: how reliable are transfers across countries?". *Environmental & Resources Economics* vol. 29, pp. 67-82.

RESOLUCIÓN nº 34/2011, de 21 de marzo, del Secretario General Técnico de Turismo, Medio Ambiente y Política Territorial, por la que se dispone la publicación, en el *Boletín Oficial de La Rioja,* del Acuerdo del Consejo de Gobierno, de 18 de marzo de 2011, por el que se aprueba el Plan de mejora de Calidad del Aire de La Rioja 2010-2015.

REYES, M., LINARES, C., TOBÍAS, A., DÍAZ. J., "Impact of Saharan dust particles on hospital admissions in Madrid (Spain)". *Int Arch Occup Environ Health*. In Press.

RIBAS, A., PEÑUELAS, J (2006). "Surface ozone mixing ratio increase with altitude in a transect in the Catalan Pyrenees". *Atmospheric Environment* 40: 7308-7315.

SALAMANCA, F., KRPO, A., MARTILLI, A., CLAPPIER, A., 2010, "A new building energy model coupled with an Urban Canopy Parameterization for urban climate simulations – Part I. Formulation, verification and sensitivity analysis of the model". *Theoreical and Applied Climatology***.** 99, 331-344.

SAMOLI, E., NASTOS, P.T., PALIATSOS, A.G., KATSOUYANNI, K., PRIFTIS, K.N. "Acute effects of air pollution on pediatric asthma exacerbation: Evidence of association and effect modification". *Environ res* 2011; 111:418-424.

SÁNCHEZ GRANADOS, L., CRUZ YUSTA, M., MÁRMOL PRADOS, I. (2012): "Materiales de construcción para frenar la contaminación urbana", *Revista Seguridad y Medio Ambiente* nº 126*,* segundo trimestre 2012.

SÁNCHEZ, M.L., DE TORRE, B., GARCÍA, M.A., PÉREZ, I. (2005) "Ozone concentrations at a high altitude station in the Central Massif (Spain)". *Chemosphere* 60: 576-584.

SÁNCHEZ, M.L., DE TORRE, B., GARCÍA, M.A., PÉREZ, I. (2007). "Ground-level ozone vertical profile measurements close to the foothills of the Guadarrama mountain range (Spain)". *Atmospheric Environment* 41: 1302-1314.

SANTIAGO, J.L., PARRA, M.A., MARTILLI, A., MARTÍN, F., SANTAMARÍA, J.M., 2010. "Analysis of spatial representativeness of urban monitoring stations using steady CFD-RANS simulations". *Proceedings of 9th Symposium on the Urban Environment of American Meteorological Socie-*

ty. Keystone. Colorado. USA (https://ams.confex.com/ams/19Ag19BLT9Urban/webprogram/Paper172261.html).

SANZ, M.J., SANZ, F., SÁNCHEZ, G. (2001). "Spatial and annual temporal distribution of ozone concentrations in the Madrid basin using passive samplers". *The Scientific World* 1: 785-795.

SCHAUSER, I., OTTO, S., SCHNEIDERBAUER, S., HARVEY, A., HODGSON, N., ROBRECHT, H., MORCHAIN, D., SCHRANDER, J.-J., KHOVANSKAIA, M., CELIKYILMAZ-AYDEMIR, G., PRUTSCH, A. y MCCALLUM, S. (2010) "Urban regions: vulnerabilities, vulnerability assessments by indicators and adaptation options for climate change impacts – Scoping study", *ETC/ACC Technical Paper,* European Topic Centre on Air and Climate Change, Bilthoven.

SECRETARÍA GENERAL PARA LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y DEL CAMBIO CLIMÁTICO. Dirección general de calidad y evaluación ambiental. Estrategia española sobre la Contaminación Atmosférica. Aprobada por Acuerdo de Consejo de Ministros de 20-7-2007.

SHORTLE, *et al*, (1986). "Economic assessment of crop damage due to air pollution: The role of quality effects". *Staff paper* 118. Department of Agricultural Economics, Pennsylvania State University, State College, PA.

SKAMAROCK, W.C., and Coauthors, 2005: "A description of the Advanced Research WRF version 2. NCAR Tech". Note TN-468+STR, 88 pp. [Available from NCAR, P. O. Box 3000, Boulder, CO 80307.].

STEDMAN, J.R., ANDERSON, H.R., ATKINSON, R.W. Y MAYNARD, R.L. (1997) "Emergency hospital admissions for respiratory disorders attributable to summer time ozone episodes in Great Britain", *Thorax*, 52(11) 958–963.

STEENEVELD, G.J., KOOPMANS, S., HEUSINKVELD, B.G., VAN HOVE, L.W.A. y HOLTSLAG, A.A.M. (2011). "Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands", *Journal of Geophysical Research,* 116 (D20).

TENÍAS, J.M., BALLESTER, F. (2009) *Impacto de la contaminación atmosférica en la salud de los ciudadanos. Resumen de los estudios realizados en la ciudad de Valencia. Ecosostenible.* 2009; 51: 1726.

TOBÍAS, A., CAYLÁ, J.A., PEY, J., ALASTUEY, A., QUEROL, X. "Are Saharan dust intrusions increasing the risk of meningococcal meningitis?" *Int J Infect Diseases* 2001; 15:e503.

TOBÍAS, A., PÉREZ, L., DÍAZ, J., LINARES, C., PEY, J., ALASTUEY, A. *et al. "*Short-terms effects of particulate matter on hospital mortality Turing Saharan dust outbreaks: A case-crossover analysis en Madrid (Spain)". *Sci Tot Environ,* 2011; 412:386-389.

UE. COMUNICACIÓN de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo y al Comité Económico y Social Europeo de 11 de junio de 2003. *Estrategia Europea de Medio Ambiente y Salud* (COM (2003) 338 final).

UE. COMUNICACIÓN de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo y al Comité Económico y Social Europeo de 9 de junio de 2004 *–Plan de Acción Europeo de Medio Ambiente y Salud (2004-2010)–* COM (2004) 416 final- no publicada en el Diario Oficial.

UE. COMUNICACIÓN de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo y al Comité Económico y Social Europeo y al comité de las regiones de 8 de enero de 2010. *Plan de Acción de Movilidad Urbana (COM(2009)* 490 final).

UE. DICTAMEN del Comité de las Regiones "hacia un transporte más ecológico". *Diario Oficial de la Unión Europea* C 120/47 de 28.5.2009.

UE. DICTAMEN del Comité de las Regiones «plan de acción sobre movilidad urbana». *Diario Oficial de la Unión Europea* C 200/1 de 25.9.2009.

UE. DICTAMEN del Comité Económico y Social Europeo sobre el tema "Integración de las políticas de transporte y uso del suelo para lograr transportes urbanos más eficaces". *Diario Oficial de la Unión Europea* C 317/1 de 23.12.2009.

UE. 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. *Diario Oficial de la Unión Europea* L 152/1 de 11 de junio de 2008.

UE. REGLAMENTO (CE) n° 443/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de los turismos nuevos como parte del enfoque integrado de la Comunidad para reducir las emisiones de CO2 de los vehículos ligeros. *DO* L 140 de 5.6.2009.

UE. REGLAMENTO (CE) nº 715/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de junio de 2007 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. *Diario Oficial de la Unión Europea* L 171/1 de 29.6.2007.

UE. "Tratado de la Unión Europea y del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea". *Diario Oficia*l n° C 83 de 30.3.2010T.

VAN DER EERDEN *et al*, (1988). "Cross loss due to air pollution in the Netherlans". *Environmental Pollution,* vol. 53, pp. 365-376.

VESTRENG, V., BREIVIK, K., ADAMS, M., WAGENER, A., GOODWIN, J., ROZOVSKKAYA, O., PACYNA, JM.**,** 2005. "Inventory Review 2005, Emission Data reported to LRTAP Convention and NEC Directive, Initial review of HMs and POPs", *Technical report MSC-W 1/2005*, ISSN 0804-2446.

VIVANCO, M.G., PALOMINO, I., VAUTARD, R., MENUT, L., BESSAGNET, B., MARTÍN, F., JIMÉNEZ, S., 2009. "Multi-Year Assessment of Photochemical Air Quality Simulation Over Spain". *Environmental Modelling & Software* 24 (1), 1364-8152.

VIVANCO, M.G., CORREA, M., AZULA, O., PALOMINO, I., MARTÍN, F., 2008. Influence of model resolution on ozone predictions over Madrid area (Spain). In: Computacional Science and Its Applications – ICSSA 2008" Lecture Notes in Computing Science LNCS 5072. Volumen I: 165 -178.

WELSCH, H. (2006). "Environment and happiness: valuation of air pollution using life satisfaction data". *Ecological Economics*, Vol. 58, pp. 801-813.

WILBY, R.L. (2008) *Constructing climate change scenarios of urban heat island intensity and air quality, Environment and Planning B: Planning and Design*, 35(5) 902–919.

WILHELMI, O.V., PURVIS, K.L. y HARRISS, R.C. (2004) "Designing a geospatial information infrastructure for mitigation of heat wave hazards in urban areas", *Natural Hazards Review,* 5(3): 147.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2008). Protecting HEALTH in Europe from climate change.

XUNTA DE GALICIA. Subdirección Xeral de Investigación, Cambio Climático e Información Ambiental da Secretaría Xeral de Calidade e Avaliación Ambiental (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestruturas). *Plan para la reducción de contaminación producida por PM_{10} en la zona ES1201* A Coruña. http://aire.medioambiente.xunta.es/informes/258_Plan_mejora_PM10_Coruna.pdf

FUNDACIÓNMAPFRE

www.fundacionmapfre.org
Tel. (+34) 91 602 52 21
Fax: (+34) 91 581 60 70