

COLABORACIÓN ESPECIAL**CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD****Ferran Ballester**

Unidad de Epidemiología y Estadística. Escuela Valenciana de Estudios para la Salud.

RESUMEN

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 indirectamente por el impacto en los fenómenos meteorológicos, sino, de manera inmediata, por los efectos directos de los contaminantes para la salud. Sin embargo, durante demasiados años los esfuerzos en la mayor parte del mundo se han dirigido a tratar estos dos problemas separadamente. De hecho, muy a menudo se considera que los beneficios de la protección del clima sobre la salud se obtendrían a largo plazo. Por el contrario, lo que se ha puesto de manifiesto en los últimos años es que las acciones para reducir las emisiones de gases contaminantes redundarían en efectos beneficiosos a corto plazo debido a la reducción del impacto de los contaminantes atmosféricos sobre la salud de los ciudadanos.

En este capítulo se presentan los posibles riesgos de los contaminantes más relacionados con los cambios climáticos, como el ozono o las partículas finas. Teniendo en cuenta las incertidumbres y desconocimientos sobre el tema en el presente se plantean las principales implicaciones para las políticas sobre el tema en España, así como las necesidades de investigación. En este sentido, tanto desde el punto de vista de la vigilancia como de la investigación se considera necesario el establecimiento de un sistema de vigilancia epidemiológica de los efectos de la contaminación atmosférica y su relación con los cambios globales.

Palabras clave: Contaminación atmosférica. Cambio climático. España. Predicción. Evaluación de Necesidades.

ABSTRACT**Air Pollution, Climate Change and Health**

Emissions into the atmosphere related to the climate change may further worsen the effects which air pollution has on the health of our citizens, not only indirectly due to the impact of weather phenomenon, but directly, due to the direct effects pollutants have on health. However, the efforts throughout most of the world have been aimed at dealing with these two problems separately for too many years. In fact, it is very often believed that the climate's health-safeguarding benefits would be achieved in the long term. To the contrary, what has become obvious over recent years is that the actions for reducing the emissions of polluting gases could redound in beneficial effects in the short term due to the reduction of the impact of air pollutants on the health of our citizens.

This article presents the possible risks of the pollutants most closely related to climate changes, such as ozone and fine particles. Bearing in mind the uncertainties and unknowns related to this subject, the main implications for the policies related to this matter in Spain, as well as the needs for research are set out herein. In this regard, both from the standpoint of monitoring as well as research, it is considered necessary for an epidemiological monitoring system of the effects of air pollution and the relationship thereof to global changes to be established.

Key words: Air pollution. Climatic Changes. Spain. Forecasting. Needs Assessment.

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud considera la contaminación atmosférica como una de las más importantes prioridades mundiales en salud¹. En un reciente informe se ha estimado que la contaminación ambiental

debida a partículas es responsable de 1,4% de todas las muertes en el mundo². La contaminación atmosférica en interiores tendría un efecto aún mayor, especialmente en países en vías de desarrollo. En definitiva, importantes sectores de la población se encuentran expuestos a contaminantes atmosféricos con posibles repercusiones negativas sobre su salud.

Las emisiones a la atmósfera relacionadas con el cambio climático pueden agravar los

Correspondencia:
Ferran Ballester.
Escuela Valenciana de Estudios para la Salud.
C/ Juan de Garay 21. 46017 Valencia
Correo electrónico: ballester_fer@gva.es

efectos de la contaminación del aire sobre la salud de los ciudadanos, no sólo indirectamente por el impacto en los fenómenos meteorológicos sino de manera inmediata por los efectos directos de los contaminantes sobre la salud.

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y SUS FUENTES

Los contaminantes atmosféricos, normalmente medidos en la atmósfera urbana, provienen de fuentes móviles (tráfico rodado) y de fuentes fijas de combustión (industrias, usos residenciales –climatización–, y procesos de eliminación de residuos). Se distingue entre contaminantes primarios y secundarios. Los primeros son los que proceden directamente de la fuente de emisión. Los contaminantes secundarios se producen como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y físicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la atmósfera, distinguiéndose, sobre todo, la contaminación fotoquímica y la acidificación del medio. Las características de los

principales contaminantes químicos y sus fuentes más importantes se resumen en la tabla 1.

IMPACTO EN SALUD DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Efectos en salud ocasionados por la contaminación atmosférica

Es necesario reconocer que aún existen incertidumbres acerca de los mecanismos fisiopatogénicos de los contaminantes atmosféricos. Sin embargo se conoce bien que los efectos de la exposición a la contaminación atmosférica son múltiples y de diferente severidad, siendo los más afectados los sistemas respiratorio y cardiocirculatorio. Estos efectos mantienen una gradación tanto en la gravedad de sus consecuencias como en la población susceptible afectada (figura 1).

En los últimos años se han llevado a cabo diversos proyectos multicéntricos utilizando técnicas de *análisis de series temporales*. En

Tabla 1

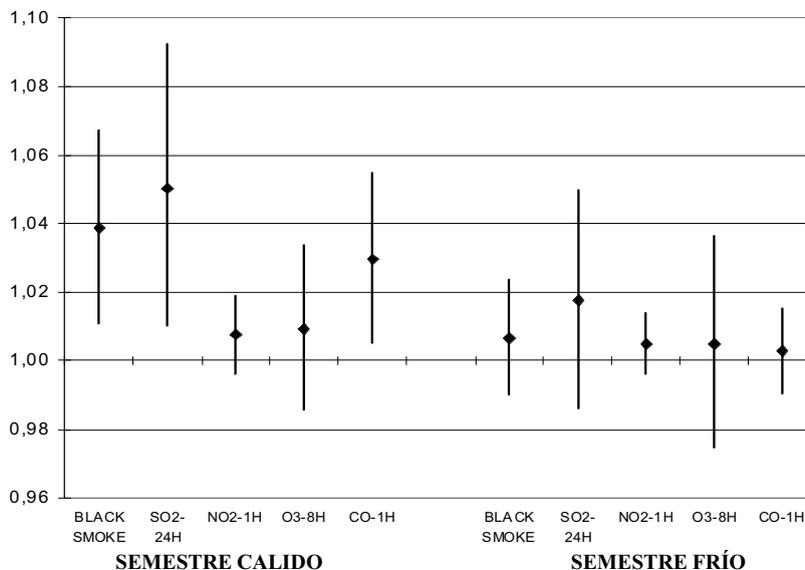
Descripción de los principales contaminantes atmosféricos químicos y sus fuentes

Contaminante	Formación	Estado físico	Fuentes
Partículas en suspensión (PM): PM ₁₀ , Humos negros.	Primaria y secundaria	Sólido, líquido	Vehículos Procesos industriales Humo del tabaco
Dióxido de azufre (SO ₂)	Primaria	Gas	Procesos industriales Vehículos
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Primaria y secundaria	Gas	Vehículos Estufas y cocinas de gas
Monóxido de carbono (CO)	Primaria	Gas	Vehículos Combustiones en interiores Humo de tabaco
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Primaria, secundaria	Gas	Vehículos, industria, humo del tabaco Combustiones en interiores
Plomo (Pb)	Primaria	Sólido (partículas finas)	Vehículos, industria
Ozono (O ₃)	Secundaria	Gas	Vehículos (secundario a foto-oxidación de NO _x y COVs)

PM₁₀: partículas con un diámetro inferior a 10 µm
NO_x: óxidos de nitrógeno

Figura 1

Asociación entre contaminación atmosférica e ingresos urgentes diarios por enfermedades cardiovasculares. Análisis por semestres. Valencia, 1994-1996. Los resultados se expresan como el riesgo relativo (y su intervalo de confianza al 95%) por un incremento en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($1 \text{ mg}/\text{m}^3$ para el CO) en los niveles diarios del contaminante correspondiente



Fuente: Ballester et al²⁶

Europa el proyecto APHEA³ y en Estados Unidos el estudio NMMAPS⁴ se encuentran entre los que han aportado más al conocimiento del impacto agudo de la contaminación en la salud. En Francia⁵ e Italia⁶ se han realizado estudios multicéntricos nacionales que han valorado el impacto de la contaminación en las principales ciudades de cada uno de estos países. En España dentro del proyecto EMECAS se está llevando a cabo un estudio que incluye a 16 ciudades sobre el impacto de la contaminación atmosférica⁷⁻¹⁰. En general el contaminante más estudiado ha sido las partículas, encontrándose que un incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los niveles atmosféricos de PM10 se asocia, según los estudios, con un aumento de un 0,2 a un 1% en la mortalidad por todas las causas y un 0,5 a un 2% en la mortalidad cardiorrespiratoria.

Aunque en menor número que los estudios de series temporales existen varios estu-

dios de cohortes sobre el impacto de la contaminación en la salud. El más importante es el realizado por Pope y colaboradores como parte del *II Estudio para la Prevención del Cáncer*. En total se recogieron desde 1982 datos sobre factores de riesgo y contaminación atmosférica para unos 500.000 adultos de 151 áreas metropolitanas de los Estados Unidos. En marzo de 2002 se publicaron los resultados del seguimiento de dicha cohorte hasta el año 1998¹¹. Las partículas finas (PM2,5) y los óxidos de azufre mostraron una asociación con la mortalidad para todas las causas, para enfermedades del aparato circulatorio y por cáncer de pulmón. Cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los niveles atmosféricos de partículas finas se asoció aproximadamente con un aumento de un 4%, 6%, y 8% respectivamente del riesgo de morir por todas las causas, por del aparato circulatorio y por cáncer de pulmón.

Contaminación fotoquímica e incremento de temperatura

La contaminación fotoquímica (o tipo «verano») se refiere principalmente a la contaminación procedente de las reacciones de los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno, estimuladas por la luz solar intensa y el incremento de la temperatura. El ozono es considerado generalmente como el componente más tóxico de esta mezcla. Se forma por la acción de la radiación ultravioleta del sol sobre los NOx y en presencia de compuestos orgánicos volátiles y otros contaminantes.

Estudios recientes han descrito un número importante de efectos adversos del ozono, los más importantes relacionados con el sistema respiratorio, como disminución de la función pulmonar^{12,13}, agravamiento del asma^{13,14}, aumento de riesgo de visitas a urgencias¹⁵, de ingresos hospitalarios^{16,17} y, probablemente, un aumento de riesgo de morir^{18,19}. Por otro lado, existen algunas evidencias de que los individuos, especialmente los más jóvenes, con hiperreactividad de vías aéreas, como los asmáticos, constituyen un grupo más sensible a los efectos del ozono.

Aeroalergenos y salud respiratoria

En un número importante de estudios se ha descrito que las altas concentraciones de polen y esporas se asocian con epidemias de asma y de otras enfermedades alérgicas como la rinitis o la fiebre del heno. En un estudio reciente realizado en Madrid²⁰ se determinó una asociación significativa entre los incrementos del percentil 95 al 99 de polen de *Poacea* y *Plantago* con un incremento en el número de visitas por asma a las urgencias hospitalarias del 17% y del 16% respectivamente. También se ha encontrado una asociación con el polen de urticáceas, con un 8,5% de incremento en el número de urgencias por asma. Sin embar-

go no está claramente definido el papel de los aeroalergenos en el inicio del asma e incluso en su exacerbación, por lo que se requieren más investigaciones antes de poder establecer posibles impactos del cambio climático.

Impacto en salud pública

Desde el punto de vista de la salud pública es importante destacar que aunque la magnitud del impacto en salud es pequeña la proporción atribuible a la contaminación atmosférica es importante, dado que toda la población está expuesta. Un estudio llevado a cabo en Francia, Suiza y Austria, indica que el 6% de la mortalidad y un número muy importante de nuevos casos de enfermedades respiratorias en estos países puede ser atribuido a la contaminación atmosférica. La mitad de este impacto es debido a la contaminación emitida por los vehículos a motor²¹. Junto a los anteriores efectos demostrados es importante considerar el impacto potencial de las exposiciones a la contaminación atmosférica durante la gestación y la primera infancia, como muestran algunos estudios. Una reciente revisión sobre el tema²² muestra resultados que indican una asociación entre la exposición a la contaminación atmosférica con el bajo peso al nacer y el retraso en el crecimiento intrauterino, así como el efecto de las exposiciones tempranas sobre la salud infantil, incluyendo incremento de mortalidad. Coincidiendo con la Cumbre Interministerial de Budapest de junio de 2004 se presentó un Informe sobre la evaluación de la carga en salud infantil de determinadas exposiciones ambientales en Europa²³. Los resultados del mismo indican que en los niños europeos de 0 a 4 años entre el 1,8% al 6,4% de todas las muertes serían atribuibles a la contaminación atmosférica en exteriores, y el 4,6% a la exposición a aire contaminado en el interior de los edificios. La persistencia de situaciones de mala calidad del aire o su posible empeoramiento puede represen-

tar un compromiso importante para la salud de los más pequeños y de las generaciones futuras.

Factores modificadores del impacto de las variaciones del clima y la contaminación atmosférica

En varios estudios se ha observado un mayor efecto de algunos de los contaminantes atmosféricos durante los meses más cálidos. Así se ha descrito para la asociación del SO_2 ^{24,25} sobre la mortalidad y la morbilidad cardiovascular (figura 1). En el estudio APHEA-2²⁷ se encontró que tanto la temperatura media anual como la ubicación de la ciudad en Europa (Norte, Sur, Este), es decir, componentes relacionados con el clima, jugaban un papel modificador del efecto de la contaminación con la mortalidad. El efecto de las partículas sobre la mortalidad fue mayor en las ciudades de clima más cálido.

Se han sugerido diversas hipótesis para explicar estos hallazgos. Por un lado la medida de la contaminación atmosférica durante los meses cálidos podría ser un indicador más aproximado de la exposición total de la población, ya que la gente pasa más tiempo en la calle y las ventanas están más tiempo abiertas²⁸. Por otro lado, en los meses cálidos podría aumentar la susceptibilidad individual a la contaminación debido a procesos tales como el aumento del efecto de las partículas sobre el sistema de regulación de la viscosidad plasmática²⁹.

Diversos estudios han descrito un efecto mayor del ozono durante los días de temperatura más altas³⁰ o en los meses más calurosos^{31,32}. En el estudio EMECAS se ha descrito un efecto del ozono sobre el número de ingresos por enfermedades circulatorias, que es estadísticamente significativo en los meses cálidos pero no en el resto del año³³.

TENDENCIAS EN LOS NIVELES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS E INFLUENCIA DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS

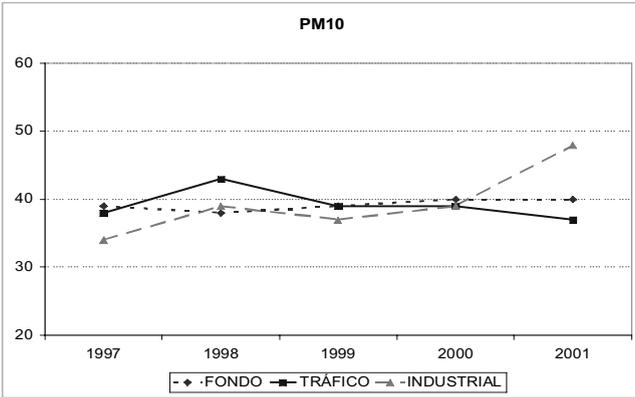
Evolución de los contaminantes atmosféricos en España

En el informe SESPAS 2000 se describió la tendencia descendente de los niveles de SO_2 y los humos negros, especialmente el primero, en los últimos 20 años³⁴. Estos han sido los contaminantes tradicionalmente incluidos en los programas de monitorización y control de la contaminación atmosférica. En la actualidad en España se dispone de información adecuada para evaluar con cierta perspectiva la situación actual y la tendencia de otros contaminantes relevantes para la salud humana (figura 2).

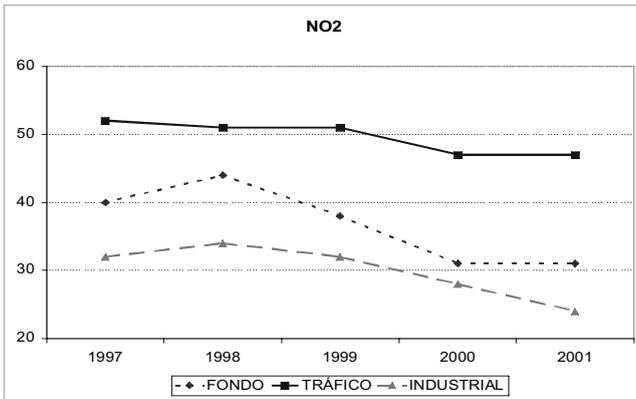
Dado que la mayor parte de la población española vive en áreas urbanas, los datos correspondientes a **PM10** y **NO₂** se presentan para las estaciones de tipo urbano, distinguiendo por un lado aquellas directamente influenciadas por el tráfico de una calle cercana (estaciones de tráfico), por otro lado las influenciadas principalmente por fuentes industriales (estaciones industriales) y, por último, aquellas que no están tan influenciadas de manera directa por el tráfico o la industria (estaciones de fondo urbano). Para estos dos contaminantes podemos observar cómo los valores registrados oscilan alrededor del valor límite contemplado en la normativa europea y española, es decir 40 g/m^3 como valor medio anual, fijado para ser alcanzado en 2005 o 2010 respectivamente³⁵. En ambos casos hemos de tener en cuenta que los valores que se muestran son los promedios de las medias anuales en cada uno de las más de 150 estaciones urbanas. Ello quiere decir que en un número importante de estas ciudades los valores anuales son superiores al valor límite establecido por la normativa española y europea. En términos de salud pública este hecho es importante pues nos da una idea de que el porcentaje

Figura 2

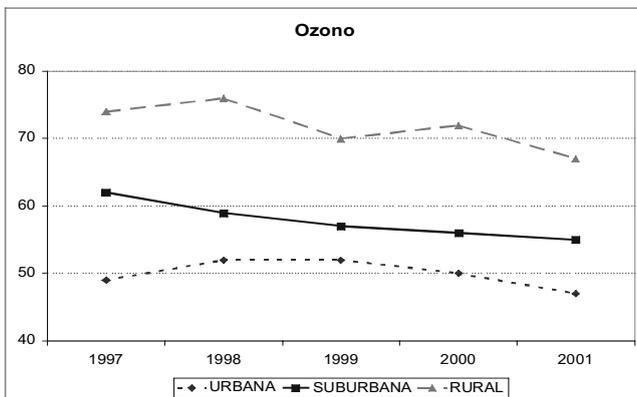
Promedio de las medias anuales de los niveles de PM10, NO₂ y Ozono (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$): España, 1997-2001.
 Fuente: Base de Datos de Calidad del Aire, Ministerio de Medio Ambiente, 2003. Elaboración propia



← Valor límite anual: $40\mu\text{g}/\text{m}^3$



← Valor límite anual: $40\mu\text{g}/\text{m}^3$



Valor objetivo media 8 horas: $120\mu\text{g}/\text{m}^3$

de personas expuestas a concentraciones medias superiores a los límites establecidos para PM10 y NO₂ puede ser alto. Sin embargo se ha de considerar que la composición de las partículas puede variar sustancialmente de un lugar a otro, y que la toxicidad de las partículas parece estar relacionada entre otros factores con su composición y su tamaño.

Para el **ozono**, al tratarse de un contaminante secundario que suele alcanzar valores mayores en zonas alejadas de los focos emisores, se representan los valores medidos en estaciones de fondo, ubicadas tanto en zonas urbanas como semiurbanas y rurales. En este caso, los valores medios más altos se sitúan en las zonas rurales. En las estaciones semiurbanas, que representan la exposición de un porcentaje importante de la población, las concentraciones medias anuales alcanzan los 60 g/m³. Dada la alta estacionalidad anual (con valores más altos en los meses cálidos) y el patrón diario del ozono (con picos importantes durante las horas de irradiación solar) es seguro que en un número importante de estaciones se excederá en un buen número de días al año el valor límite de 120 g/m³ para valores de la máxima diaria de 8 horas. En general, se observa una estabilidad o cierta tendencia a la disminución en las concentraciones medias. Sin embargo, el periodo considerado es muy corto para poder identificar un patrón consistente.

Estacionalidad e influencia de las condiciones meteorológicas en la emisión, transporte y formación de los contaminantes atmosféricos

La **estacionalidad** puede diferir entre las distintas localizaciones dependiendo, fundamentalmente, de las emisiones y de los fenómenos meteorológicos. Sin embargo existe un patrón homogéneo en la mayor parte de las ciudades de España. Los contaminantes primarios procedentes de la combustión de combustibles fósiles presentan un patrón

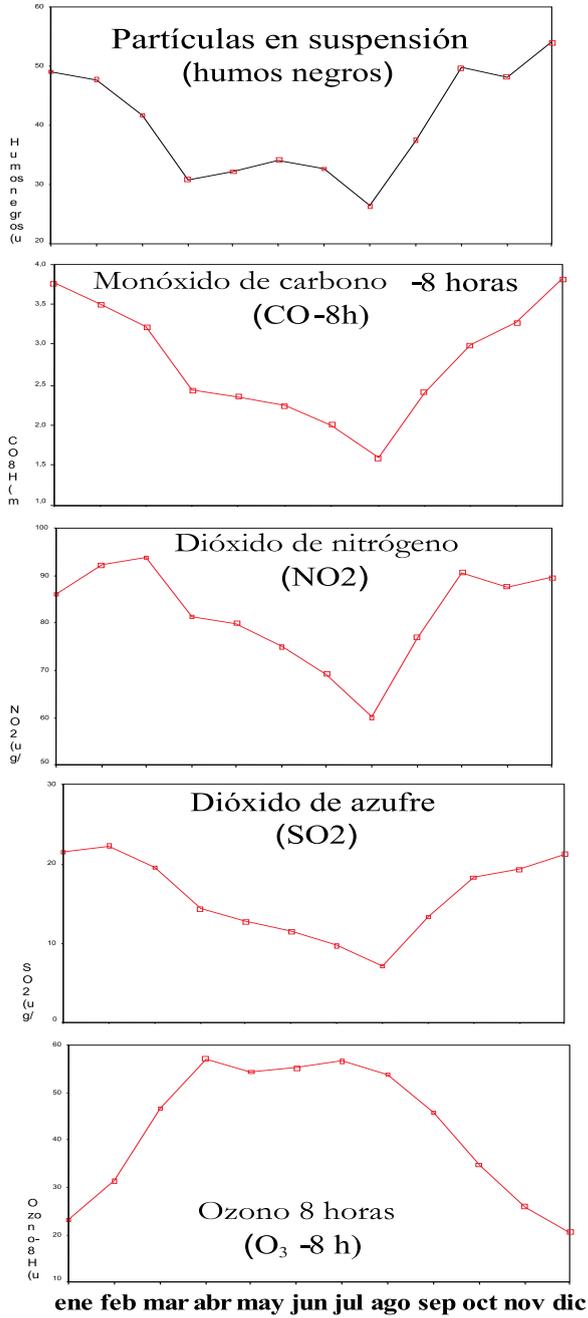
con valores más altos en invierno (por más emisiones junto a condiciones de estabilidad meteorológica) y valores más bajos los meses de verano. En cambio el ozono presenta el patrón inverso. Sus valores son más altos en los meses de temperaturas más altas debido a la interacción de los rayos ultravioleta con los gases precursores procedentes del escape de los vehículos y otras fuentes (NO₂ y COV) (figura 3). Este patrón podría ser diferente para los contaminantes que son transportados a larga distancia. En España este es el caso de los episodios de contaminación por partículas que ocurren en las Islas Canarias y en parte de la península Ibérica como consecuencia del transporte de polvo del Sahara^{36,37}. Este hecho debe ser tenido en cuenta a la hora de valorar los niveles de partículas en nuestro país, pues en determinadas circunstancias cerca de la mitad procede del polvo del Sahara.

Las concentraciones de los contaminantes atmosféricos dependen de su producción y también, de manera determinante, de su dispersión. El cambio climático puede afectar a cualquiera de los dos procesos anteriores. Por un lado, relacionado con la meteorología, la posible mayor frecuencia de fenómenos anticiclónicos puede hacer disminuir la dispersión de los contaminantes. Otro fenómeno meteorológico que se ha anticipado como posible consecuencia del cambio climático sería el aumento en los episodios de tormenta seca con transporte de polvo del Sahara y otros lugares. Por otro lado, como se comenta más adelante, el aumento de temperatura se correlaciona muy directamente con un incremento en las concentraciones de ozono. Por último, de manera indirecta, un aumento de la temperatura puede asociarse con un incremento de las emisiones de contaminantes por el consumo mayor de energía debido a los sistemas de acondicionamiento de aire, refrigeración y conservación de alimentos y otros productos.

Aunque sería necesario conocer las previsiones específicas para España, dada la natu-

Figura 3

Promedios mensuales de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, excepto CO en mg/m^3) en la ciudad de Valencia, 1995-2000. Elaboración propia



raleza de contaminante secundario del **ozono** es previsible que el cambio climático se asocie con los incrementos de sus niveles. Es incierto predecir cómo puede afectar el cambio climático a los niveles de otros contaminantes. Los contaminantes más relacionados con los sistemas de calefacción, como el SO_2 , posiblemente experimentarán un descenso en su uso y por ello en sus emisiones. Sin embargo para otros contaminantes como las partículas finas, (NO_2 o el CO) muy relacionadas con emisiones de los vehículos a motor, no se puede asegurar cuáles serán sus tendencias. En gran medida estas vendrán marcadas por el consumo de combustibles fósiles. A escala local pueden ocurrir situaciones episódicas de contaminación atmosférica asociadas a fenómenos meteorológicos de altas presiones y ausencia de lluvias prolongadas. Por último, el calentamiento de la tierra puede comportar un incremento en el número e intensidad de incendios forestales. El humo producido en estos incendios se ha visto relacionado con el incremento de procesos respiratorios en la población afectada.

Influencia de las condiciones meteorológicas en la producción y liberación de polen y esporas

A pesar de que las concentraciones de polen y esporas dependen en gran medida de las especies existentes tanto cultivadas como silvestres, las variaciones en dichas concentraciones dependen de los factores meteorológicos³⁸. El cambio climático podría adelantar o alargar el periodo polínico para algunas especies con capacidad alergénica. Además el incremento en los niveles de CO_2 podría afectar a la producción de polen.

asma, enfermedades cardiovasculares y diabetes³⁹, y los niños se encuentran entre los grupos más vulnerables⁴⁰. En el caso de la contaminación atmosférica por ozono el grupo de personas con mayor riesgo son los niños, los jóvenes y los adultos, por pasar más tiempo en el exterior de los edificios. Si además estas personas se encuentran realizando un ejercicio intenso (juego, deporte, trabajo) la frecuencia e intensidad respiratoria se incrementan y, por consiguiente, también el riesgo. Los niños constituyen un grupo de riesgo especial porque su sistema respiratorio no se encuentra desarrollado completamente, porque pasan más tiempo en el exterior y porque respiran más aire por unidad de peso que los adultos.

Por otro lado se ha relacionado el nivel socioeconómico con el grado del impacto de la contaminación atmosférica en la salud. Así se ha descrito recientemente un mayor número de defunciones por causas respiratorias entre las personas con peores condiciones socioeconómicas en Sao Paulo (Brasil)⁴¹ y en Hamilton (Canadá)⁴². Estas diferencias en el impacto en salud podrían deberse a diferencias en la exposición (las personas de clases menos favorecidas viven en lugares más contaminados), a diferencias en el estado de salud (la pobreza se asocia con enfermedad, por ejemplo con bronquitis crónica), y a diferencias en la susceptibilidad o vulnerabilidad (peor alimentación, peores condiciones de la vivienda). Sin embargo los resultados anteriores se han relacionado más con contaminantes primarios como el CO y el SO_2 . En el caso del ozono al ser un contaminante secundario las zonas más expuestas pueden estar alejadas de los focos de emisión⁴³.

VULNERABILIDAD

Diferentes estudios han mostrado que los ancianos, las personas con la salud comprometida que padecen bronquitis crónica,

PRINCIPALES MEDIDAS ADAPTATIVAS

Como establece la Comisión de Economía de Naciones Unidas para Europa⁴⁴, los científicos y los políticos no deberían seguir

Tabla 2

Medidas encaminadas a minimizar el impacto del cambio climático sobre la salud

- Establecimiento de un sistema de vigilancia de la situación atmosférica (incluyendo meteorología y pólenes y esporas) y su impacto en salud.
- Medidas legislativas que establezcan estándares y objetivos de calidad del aire.
- Disminución de emisiones de gases contaminantes.
 - Puesta en marcha de estrategias en sectores clave (transporte, industrial, urbanismo, vivienda)
 - Uso eficiente de la energía
 - Utilización progresiva de energías renovables
- Puesta en marcha de acciones para evitar incendios forestales
- Acciones de educación para la salud y promoción de hábitos respetuosos con el medio ambiente
- Fomentar la participación ciudadana

tratando la contaminación atmosférica y el cambio climático como problemas distintos, dado que los dos están muy estrechamente relacionados y son en gran parte debidos al incremento en el uso de combustibles fósiles. En este sentido se deberían considerar una serie de medidas para controlar y minimizar el posible impacto de la contaminación atmosférica y cambio climático sobre la salud (tabla 2).

Una de las primeras medidas a llevar a cabo debería ser el establecimiento de un sistema de monitoreo de calidad del aire (incluyendo información meteorológica y de polen y esporas) y de alerta del público ante situaciones de incremento de los niveles o situaciones extremas. Al mismo tiempo se deben llevar a cabo las medidas legislativas que establezcan unos estándares de calidad del aire y restricciones en las emisiones para proteger la salud de los ciudadanos. El marco europeo facilita la implementación de ambas medidas en nuestro país, pero son precisas políticas efectivas para conseguir un sistema integral e integrado por los diferentes sectores implicados (medio ambiente, salud pública, transporte, industria, etc.).

La medida más importante es la disminución de las emisiones de gases contaminantes. Esto comporta la puesta en marcha de estrategias, en todos los sectores, con el uso eficiente de la energía y la utilización progresiva de energías renovables.

Otra medida sería la puesta en marcha programas encaminados a reducir los riesgos producidos por los incendios forestales y la exposición a polen alergénico⁴⁵.

Las medidas anteriores deberían ser complementadas con actuaciones encaminadas a la educación de la salud y a la promoción de hábitos saludables³⁸, entre los que se incluirían el uso eficiente y responsable de la energía y los consejos para aumentar la protección de los ciudadanos (por ejemplo en los días con altos niveles de ozono).

Un último aspecto a destacar, es la necesidad de poner más énfasis en la participación ciudadana para la solución de muchos de estos problemas. Se debería fomentar el desarrollo de una conciencia en salud y medio ambiente entre la población y asegurar una participación comunitaria activa en

Tabla 3

Implicaciones para las políticas de la puesta en marcha de acciones para disminuir el impacto de la contaminación atmosférica y del cambio climático en España

- Aplicación y seguimiento de las Directivas Europeas en Calidad del Aire, incluyendo la puesta en marcha de los procedimientos y las técnicas para la correcta medición y registro continuado de los contaminantes.
- Coordinación entre los distintos Departamentos implicados (Medio Ambiente, Sanidad, Transporte, Urbanismo, Obras Públicas, Agricultura).
- Integración y coordinación interterritorial entre Gobierno Central y las Comunidades Autónomas.
- Establecimiento de políticas integradas de vigilancia y protección de la salud pública, incluyendo la información sobre riesgos ambientales.
- Desarrollo de acciones encaminadas a la reducción de emisiones relacionadas con los combustibles fósiles.
- Puesta en marcha de actividades para aumentar la conciencia y participación ciudadana en las materias relacionadas con el cambio climático, esto conlleva una estrategia de comunicación encaminada a asegurar la información y a presentar la información de una manera entendible y con una orientación a como debe ser utilizada⁴⁶.
- Inversión en estudios e investigaciones para reducir las incertidumbres relevantes para la toma de decisiones⁴⁶.

la determinación de los problemas y necesidades, así como en los procesos de planificación y acción. Los problemas de salud ambiental están conectados con el patrón de desarrollo en nuestro país (al igual que en otros países europeos) como el uso de incontrolado de energía eléctrica, de agua potable, la urbanización de la población, el uso de coches privados como manera principal de transporte, etc.). En consecuencia su solución depende de cambios importantes de estilo de vida que afectan a grandes sectores de la población.

En definitiva, los cambios futuros deben venir por la contribución de todos los sectores, es decir las decisiones de los políticos, los cambios legislativos, la actuación de los técnicos, la educación e información, las decisiones de los consumidores, etc. que deben fomentar las tecnologías limpias, la reducción del consumo de combustibles fósiles y los productos que sean menos contaminantes. Las implicaciones para las polí-

ticas de las citadas acciones se presentan en la tabla 3.

REPERCUSIONES DE LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Las medidas de adaptación comentadas en el punto anterior tendrían una repercusión sobre diferentes sectores.

La reducción de emisiones de gases contaminantes, al tener un origen común al de los gases con efecto invernadero, tendría un efecto beneficioso sobre la emisión de CO₂ y otros gases a la atmósfera. Ello redundaría en una ralentización del calentamiento global.

El uso más eficiente de la energía y la introducción progresiva de energías limpias comportará una reducción en la utilización de combustibles fósiles y, por consiguiente, una reducción en la emisión de SO₂, CO y NO₂.

La evidencia de riesgos para la salud por la emisión de partículas y gases por combustión, debe llevar a incrementar la protección de los bosques para evitar incendios forestales.

Las intervenciones encaminadas a conseguir un aire más limpio y un ambiente más sano, junto con modelos de buena práctica ambiental, puede ser un atractivo para un turismo de calidad y ecológicamente sostenible.

Una cuestión importante es la de los efectos secundarios beneficiosos de las políticas de mitigación. Las acciones para reducir las emisiones gases con efecto invernadero pueden conducir muy probablemente a mejoras en la salud de la población³⁸.

En un artículo que apareció en la revista *Lancet* durante las discusiones acerca del contenido del tratado de Kyoto⁴⁷ se realizó una evaluación del impacto en salud que tendría la adopción de políticas de control de las emisiones sobre la salud de las poblaciones, en el corto plazo, es decir, sin esperar a ver las consecuencias de la mitigación del cambio climático. En dicho trabajo se comparaba lo que ocurriría, por lo que respecta a los efectos relacionados con la exposición a partículas en suspensión, si las políticas energéticas mundiales continuaban como hasta 1997 o cambiaban a un escenario de políticas de control de las emisiones para evitar el calentamiento mundial. Desde el año 2000 al 2020, el impacto relacionado con la diferencia de exposición a partículas podría ser de una reducción de 700.000 muertes anuales. Únicamente en lo que respecta a los Estados Unidos, el número de muertes evitables equivaldría en magnitud a las muertes asociadas al sida o a todas las causadas por las enfermedades hepáticas.

Estos resultados ilustran los beneficios que a escala local y cercana en el tiempo tendrían las políticas de reducción de las emisiones de gases que provocan el calentamiento global. Estas cifras, sin embargo, deben ser valoradas con precaución y toma-

das únicamente como indicativas, dadas las asunciones y dudas existentes a la hora de realizar las estimaciones. No obstante, queda demostrado que el uso de fuentes renovables de energía puede ayudar en el proceso de reducción de las emisiones al tiempo que pueden constituir una fuente asequible de energía para un número importante de población que ahora no tiene acceso a energías limpias³⁸.

Las estrategias de transporte, medio ambiente y salud con la promoción del uso de la bicicleta y caminar como medio de transporte comportará un incremento del ejercicio físico moderado en un gran segmento de la población con hábitos de vida sedentarios, que tendrá una repercusión favorable sobre su salud⁴⁸.

INCERTIDUMBRES Y DESCONOCIMIENTOS

Existen una serie de incertidumbres generales a cerca del proceso de **cambio climático** y sus predicciones que son comentadas en el informe español sobre el cambio climático⁴⁹. Respecto a los efectos en salud de la contaminación atmosférica y su relación con el cambio climático existen una serie de incertidumbres específicas. Dos elementos importantes que pueden determinar dicho impacto en el futuro son:

- los escenarios de **emisiones** para el futuro. Estas se podrían basar en las estimaciones del crecimiento económico o poblacional pero también en el de las restricciones establecidas por la legislación a los acuerdos. En ambos casos es muy complejo hacer estimaciones pues la propia realidad puede superar las previsiones. Como ejemplo tenemos la evolución de las emisiones de gases con efecto invernadero en España, en que hasta el momento se ha sobrepasado, de largo, lo acordado por el gobierno español con

relación al cumplimiento del tratado de Kyoto.

- la **sensibilidad y vulnerabilidad de las poblaciones**. La tendencia en nuestro país es a un envejecimiento de la población lo que redundaría en un mayor impacto por la mayor susceptibilidad de las personas de edad avanzada y estado de salud comprometido. Por otro lado, aún existen muchas lagunas respecto a la estimación cuantitativa del riesgo relacionado con la mayoría de contaminantes. Para partículas se ha definido una relación concentración respuesta de forma lineal, pero se conoce menos la forma de la relación con otros contaminantes. Especialmente necesarias serán las evidencias sobre el impacto del ozono sobre la salud, dado el previsible aumento, al menos en forma episódica, de este contaminante con el cambio climático.

DETECCIÓN DEL CAMBIO

La detección y atribución de los efectos del cambio climático sobre la salud requieren el establecimiento de un sistema de monitorización para detectar los efectos tempranos⁵⁰. En nuestro país no existe un sistema de vigilancia epidemiológica de los efectos de la contaminación atmosférica. En la actualidad se dispone de diversos programas de monitorización de calidad del aire gestionados a nivel central y, mayoritariamente, en las comunidades autónomas por los departamentos encargados del medio ambiente. Dichos sistemas no están, en general, integrados con los sistemas de alerta y los servicios de salud pública. Ésta debería ser una acción prioritaria para el futuro cercano en nuestro país, y no solo por la detección de efectos ligados al cambio climático. Dicho sistema de vigilancia debería incluir información diaria de los niveles de contaminación atmosférica, de las variables meteorológicas y de variables de salud como

defunciones (total y por causa específica), el número de ingresos hospitalarios por causas cardiovasculares y respiratorias y si fuera posible información sobre las urgencias hospitalarias. Caso de no ser posible disponer de esta última información se podría seleccionar una serie de servicios de urgencias como centinela. Al mismo tiempo se debería obtener de la correspondiente información sobre estructura demográfica, nivel socioeconómico y calidad del hábitat y calidad de la atención sanitaria.

Para cumplir con los objetivos de un sistema de vigilancia este debería generar un registro mantenido y, muy especialmente, debería producir información oportuna y representativa que permitiera su uso en la planificación, desarrollo y la evaluación de las acciones de salud pública.

Una alternativa, que puede ser complementaria a la anterior, consiste en llevar a cabo evaluaciones periódicas del impacto en salud de la contaminación atmosférica y su posible relación con el cambio climático⁵¹. En Europa, el programa APHEIS^{52,53} ha realizado la evaluación de impacto en salud de la contaminación atmosférica en 26 ciudades de 12 países. La población total cubierta por esta evaluación del impacto en salud incluye cerca de 39 millones de habitantes. Para el conjunto de las 19 ciudades en las que se dispuso de información sobre PM10, una reducción de 5 µg/m³ de los niveles de PM10 conllevaría una disminución en la mortalidad a largo plazo de 5000 muertes anuales, de las cuales 800 serían fallecimientos a corto plazo. Esta evaluación proporciona una estimación cuantitativa de los beneficios potenciales de la disminución de los niveles de los contaminantes.

PRINCIPALES NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN

En el campo concreto de los posibles efectos de la contaminación atmosférica relacio-

nados con el campo climático las necesidades fundamentales en nuestro país son:

- Establecer sistemas de vigilancia y monitoreo que incluyan información meteorológica, de calidad del aire, de salud y sociodemográfica adecuadas con el fin de detectar cambios tempranos y poder obtener datos para otros estudios.
- Llevar a cabo estudios epidemiológicos para valorar el impacto del ozono, partículas finas y otros contaminantes relacionados con la variabilidad climática y sus tendencias sobre la salud. Dichos estudios deberían aportar pruebas sobre los efectos de dichos contaminantes incluyendo la relación dosis-respuesta y los factores que pueden modificar su efecto (mayor susceptibilidad en unos grupos de personas-, factores protectores, como por ejemplo el aumento de la capacidad antioxidante por medio de la dieta).
- También sería necesario llevar a cabo estudios epidemiológicos que valoraran los posibles beneficios de las acciones para mitigar el cambio climático.
- Desarrollar modelos para la predicción de los posibles efectos en salud de los cambios previstos en cuanto al clima y la calidad del aire. Dichos modelos deberían incluir previsiones en cuanto a las tendencias futuras en contaminación atmosférica, cambios en las características de la población y variaciones en los fenómenos meteorológicos y climáticos. Estas predicciones deberían ser validadas de manera continuada, mediante su confrontación con los datos del sistema de vigilancia.

AGRADECIMIENTOS

A los lectores de versiones anteriores de este manuscrito por sus comentarios, conse-

jos y aportaciones: Francisco Vargas, Marina Lacasaña, Eva Alonso, José M^a Ordóñez, Iñaki Galán, Gonzalo López-Abente, Millán Millán Muñoz, Marc Sáez, Sylvia Medina, Betina Menne y Miquel Porta. A todos los participantes en los proyectos EMECAM, EMECAS, APHEA, APHEIS y PHEWE. Los proyectos EMECAM y EMECAS han recibido financiación del Fondo de Investigaciones Sanitarias del Ministerio de Sanidad y Consumo ((FIS 97/0051 y FIS 00/0010)) y, para los datos de Valencia, la ayuda FIS 99/0587. Los proyectos APHEA, APHEIS y PHEWE han recibido financiación de la Unión Europea.

Una parte sustancial de los contenidos de este manuscrito proviene del manuscrito elaborado por el autor para el capítulo «Impactos sobre la salud humana» de Julio Díaz, Ferran Ballester y Rogelio López-Vélez incluido en el Estudio «Evaluación de los Impactos del Cambio Climático en España (ECCE)», coordinado por el profesor Antonio Moreno de la Universidad de Castilla la Mancha y financiado por la Oficina Española de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente. La reproducción de los contenidos comunes cuenta con el conocimiento y autorización de los editores del Estudio ECCE.

Las opiniones expresadas en el texto son del autor y no significan la posición institucional del organismo en el que trabaja.

BIBLIOGRAFÍA

1. Organización Mundial de la Salud. Informe de Estado de la salud en el mundo 2002 [citado 12 de diciembre de 2004] <http://www.who.int/whr/2002/chapter4/en/index7.html>.
2. Cohen AJ, Anderson HR, Ostro B, Pandey KD, Kryzanowsky M, Kuenzly N, et al. Mortality impacts of Urban Air Pollution. En: Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Murray CJL (editores). Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2003.

3. Katsouyanni K, Schwartz J, Spix C, Touloumi G, Zmirou D, Zanobetti A et al. Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiologic time series data: the APHEA protocol. *J Epidemiol Community Health* 1996; 50 (Suppl 1):S12-8.
4. Samet JM, Dominici F, Currier FC, Coursac I, Zeger S. Fine Particulate Air Pollution and Mortality in 20 U.S. Cities, 1987-1994. *N Engl J Med* 2000; 343(24):1742-1749.
5. Quenel P, Cassadou S, Declercq C, Eilstein D, Filleu L, Le Goaster C et al. Rapport Surveillance épidémiologique 'Air & Santé'. Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain. Paris, Institut de Veille Sanitaire; 1999.
6. Biggeri, A, Bellini, P, Terracini, B (editores). Meta-analysis of the Italian Studies on Short-term Effects of Air Pollution. *Epidemiologia & Prevenzione* 2001; 25[Supl 2].
7. Grupo MECAM El proyecto MECAM: Estudio español sobre la relación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad. *Revista Española de Salud Pública* 1999;73:165-314.
8. Saez M, Ballester F, Barceló MA, Perez-Hoyos S, Tenías JM, Bellido J et al. A combined analysis of the short-term effects of photochemical air pollutants on mortality within the MECAM project. *Environ Health Perspect* 2002;110:221-228.
9. Ballester F, Iñíguez C, Saez M, Pérez-Hoyos S, Daponte A, Ordóñez JM, et al. Relación a corto plazo de la contaminación atmosférica y la mortalidad en trece ciudades españolas. *Med Clin* 2003;121:684-9.
10. Ballester F, Sáez M, Daponte A, Ordoñez JM, Taracido M, Cambra K. Proyecto MECAS. Protocolo del Estudio multicéntrico sobre los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: El proyecto MECAS. *Rev Esp Salud Pública* 2005; 79: 229-42.
11. Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002; 287:1132-1141.
12. Galizia A, Kinney PL. Long-term residence in areas of high ozone: associations with respiratory health in a nationwide sample of nonsmoking young adults. *Environ Health Perspect* 1999;107:675-679.
13. Gauderman WJ, Gilliland GF, Vora H, Avol E, Stram D, McConnell R et al. Association between air pollution and lung function growth in southern California children: results from a second cohort. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;166:76-84.
14. McConnell R, Berhane K, Gilliland F, London SJ, Vora H, Avol E et al. Air pollution and bronchitic symptoms in Southern California children with asthma. *Environ Health Perspect* 1999; 107:757-760.
15. Tenías JM, Ballester F, Perez-Hoyos S, Rivera ML. Air Pollution and hospital emergency room admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Valencia, Spain. *Arch Environ Health* 2002; 57:41-47.
16. Anderson HR, Spix C, Medina S, Schouten JP, Castellsague J, Rossi G et al. Air pollution and daily admissions for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities: results from the APHEA project. *Eur Respir J* 1997; 10:1064-1071.
17. Sunyer J, Spix C, Quenel P, Ponce A, Barumandzadeh T, Touloumi G et al. Urban air pollution and emergency admissions for asthma in four European cities: the APHEA Project. *Thorax* 1997; 52:760-765.
18. Burnett RT, Smith-Doiron M, Stieb D, Raizenne ME, Brook JR, Dales RE et al. Association between ozone and hospitalization for acute respiratory diseases in children less than 2 years of age. *Am J Epidemiol* 2001; 153:444-452.
19. Goldberg MS, Burnett RT, Brook J, Bailar JC, Valois MF, Vincent R. Associations between daily cause-specific mortality and concentrations of ground-level ozone in Montreal, Quebec. *Am J Epidemiol* 2001; 154:817-826.
20. Tobias A, Galan I, Banegas JR, Aranguiz E. Short-term effects of airborne pollen concentrations on asthma epidemic. *Thorax* 2003;58:708-10.
21. Künzli N, Kaiser J, Medina S, Studnicka M, Chanel O, Filliger P, et al. Public Health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet* 2000; 356 795-801.
22. Lacasaña M, Esplugues A, Ballester F. Exposure to ambient air pollution and prenatal and early childhood health effects. *Eur J Epidemiol* 2005; 20: 183-199.
23. Valent F, Little D, Bertollini R, Nemer LE, Barbone F, Tamburlini G. Burden of disease attributable to selected environmental factors and injury among children and adolescents in Europe. *Lancet* 2004; 363 :2032-9.

24. Ballester F, Corella D, Pérez-Hoyos S, Hervás A. Air Pollution and Mortality in Valencia, Spain: a Study using the APHEA Methodology. *J Epidemiol Community Health* 1996; 50:527-533.
25. Michelozzi P, Forastiere F, Fusco D, Perucci CA, Ostro B, Ancona C, et al. Air pollution and daily mortality in Rome, Italy. *Occup Environ Med* 1998, 55: 605-610.
26. Ballester F, Tenías JM, Perez-Hoyos S. Air pollution and emergency hospital admissions for cardiovascular diseases in Valencia, Spain. *J Epidemiol Community Health* 2001;55:57-65.
27. Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tertre A, Monopoli Y, et al. Confounding and Effect Modification in the Short-Term Effects of Ambient Particles on Total Mortality: Results from 29 European Cities within the APHEA2 Project. *Epidemiology* 2001;12:521-531.
28. Katsouyanni K. Health effects of air pollution in southern Europe: are there interacting factors?, *Environ Health Perspect* 1995, vol. 103 Suppl 2, pp. 23-27.
29. Pekkanen J, Brunner EJ, Anderson HR, Tiittanen P, Atkinson RW. Daily concentrations of air pollution and plasma fibrinogen in London, *Occup Environ Med* 2000;57:818-822.
30. Sartor F, Snacken R, Demuth C, Walckiers D. Temperature, ambient ozone levels, and mortality during summer 1994, in Belgium, *Environ Res* 1995,70:105-113.
31. Sunyer J, Castellsague J, Sáez M, Tobías A, Antó JM (1996). Air pollution and mortality in Barcelona. *J Epidemiol Community Health* 1996; 50 (Suppl 1):s76-s80.
32. Touloumi G, Katsouyanni K, Zmirou D, Schwartz J, Spix C, Ponce A et al. Short-term Effects of Ambient Oxidant Exposure on Mortality: A Combined Analysis within the APHEA Project. *Am J Epidemiol* 1997; 146:177-185.
33. Ballester F, Rodriguez MP, Perez-Hoyos S, Bellido J, Arribas F, Saurina C et al. Relationship between gaseous air pollutants and cardiovascular admissions: a study in 14 Spanish cities XVI Conference of the International Society for Environmental Epidemiology. *Epidemiology* 2004; 15:S25-S26.
34. Fernández-Patier, R. Ballester, F. Objetivo 21. Mejorar la calidad del aire. En: Informe SESPAS 2000. Barcelona: Doyma; 2000, pp. 279-289.
35. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. Directiva 1999/30/EC relativa a los valores límite para dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en aire ambiente. DOCE núm L163, 29/6/1999.
36. Viana M, Querol X, Alastuey A, Cuevas E, Rodriguez S. Influence of African dust on the levels of atmospheric particulates in the Canary Islands air quality network *Atmos Environ* 2002 36 :5861-5875.
37. Rodriguez S, Querol X, Alastuey A, Kallos G, Kakaliagou O. Saharan dust contributions to PM10 and TSP levels in Southern and Eastern Spain. *Atmos Environ* 2001 35: 2433-2447.
38. McMichael AJ, Githeko AK. Human health. En: McCarthy JJ et al, eds(2001). *Climate change. IPCC, WG II, TAR, 9.7.1*
39. Bateson TF, Schwartz J. Who is sensitive to the Effects of Particulate Air Pollution on Mortality? A case-crossover analysis of the effect modifiers. *Epidemiology* 2004;15:143-149.
40. Tamburlini G, von Ehrenstein S, Bertollini R. Children's health and environment: A review of evidence. Environmental issue report N°29 EEA-WHO. Copenhagen, WHO; 2002.
41. Martins MC, Fatigati FL, Vespoli TC, Martins LC, Pereira LA, Martins MA, et al. Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in Sao Paulo, Brazil. *J Epidemiol Community Health* 2004;58:41-6.
42. Jerrett M, Burnett RT, Brook J, Kanaroglou P, Giovis C, Finkelstein N, et al. Do socioeconomic characteristics modify the short term association between air pollution and mortality? Evidence from a zonal time series in Hamilton, Canada. *Epidemiol Community Health* 2004;58(1):31-40.
43. Lipfert FW. Air pollution and poverty: does the sword cut both ways? *J Epidemiol Community Health* 2004;58:2-3.
44. UNECE (Comisión de Economía de Naciones Unidas para Europa) Air pollution and climate change – tackling both problems in tandem, Ginebra: nota de prensa, 31 de enero de 2003.
45. Casimiro E, Calheiros JM. Human health. En: Santos FD, Forbes K, Moita R, eds. *Climate change in Portugal: escenarios, impacts, and adaptation measures-SIAM project*. Lisboa: Gradiva; 2002; pp.241-300.

46. McMichael AJ et al., eds. *Climate change and health: risks and responses*. Geneva: World Health Organization; 2003.
47. Working Group on Public Health and Fossil-Fuel Combustion (1997). *Short-term improvements in public health on fossil-fuel combustion: an interim report*. *Lancet* 1997;350:1341-49.
48. Haines A, McMichael T, Anderson R, Houghton J. Fossil fuels, transport, and public health. Policy goals for physical activity and emission controls point the same way, *BMJ* 2000;321: 168-1169.
49. Moreno A, coordinador. *Evaluación de los Impactos del Cambio Climático en España (ECCE)*. Madrid: Oficina Española de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente; 2005. Disponible en: mma.es/occc/impactos.htm
50. Kovats S, Ebi KL, Menne B. *Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climate change*. Copenhagen: World Health Organization, 2003.
51. W.H.O. *Evaluation and use of epidemiological evidence for environmental health risk assessment*. Bilthoven: European Centre for Environment and Health; 2000.
52. APHEIS. *Air Pollution and Health: a European Information System (2001) Monitoring the Effects of Air Pollution on Public Health in Europe. Scientific report 1999-2000*. Institut de Veille Sanitaire, Saint Maurice; [citado 20 de febrero de 2004]. <http://www.apheis.net/>
53. APHEIS. *Air Pollution and Health: a European Information System (2002) Health Impact Assessment of Air Pollution in 26 European Cities. Second year report 2000-2001*. Institut de Veille Sanitaire, Saint Maurice [citado 20 de febrero de 2004]. <http://www.apheis.net/>