

Contaminación atmosférica y calidad del aire en Madrid: análisis de las concentraciones de SO₂, CO, NO₂, OZONO y PM₁₀ (1980-2003)

FELIPE FERNÁNDEZ GARCÍA*

INTRODUCCIÓN

Las grandes concentraciones de población en las zonas urbanas, provocan cambios sustanciales en el medio natural que, la mayoría de las veces, incide negativamente sobre el bienestar y la salud de sus habitantes. Estos se muestran especialmente sensibles ante el deterioro de la calidad ambiental, sobre todo en aquellos países en los que se ha alcanzado un alto nivel de desarrollo y exigen medidas para solucionar estos problemas (Arroyo, F. y Fernández-García, F. 1992; Fernández-García, F. 2001). La calidad ambiental, sin embargo, es un concepto ambiguo en cuya génesis confluyen factores muy variados, unos derivados del medio físico, otros de tipo socioeconómico, políticos y culturales y esta complejidad de factores explica la dificultad para dar contenidos precisos a un concepto que ha variado a lo largo del tiempo y, aún hoy, está en permanente mutación. Un hecho es indudable, los problemas de salubridad relacionados con la pobreza, que tanto preocuparon a los higienistas del XIX y comienzos del XX, han dado paso hoy a otros relacionados con aspectos ecológicos y ambientales como son el aumento de la temperatura en las áreas urbanas y la elevada concentración de contaminantes en el aire.

* Felipe Fernández García. Dto. De Geografía. Universidad Autónoma de Madrid
felipe.fernandez @uam.es

La calidad del aire y la confortabilidad climática son dos aspectos esenciales para definir la calidad desde la óptica ambiental, debido a sus efectos negativos sobre la salud de una población cada vez más envejecida. El aumento de la mortalidad provocado por los extremos térmicos es un hecho demostrado y ha disparado las alertas en numerosos países de nuestro entorno, especialmente tras los devastadores efectos de la reciente ola de calor de 2003 (García, J.C. y Alberdi, J.C., 2004); la contaminación atmosférica, por su parte, aparece como uno de los principales factores de riesgo para la población urbana, tanto por los efectos directos sobre la mortalidad, como por el gran número de personas potencialmente expuestas a concentraciones de contaminantes consideradas peligrosas para la salud. Informes recientes de la Agencia Europea para el Medio Ambiente estimaban que en el año 1999 la población potencialmente expuesta a niveles peligrosos de contaminación por NO₂ superó el 40% de los habitantes de las ciudades de la UE y se aproximó al 30% en PM10 y ozono. Otros, han mostrado una clara relación entre el aumento de la mortalidad y morbilidad y la exposición a largo plazo a diversos contaminantes; algunos datos son especialmente significativos como el caso de las 60.000 muertes asociadas a concentraciones elevadas de partículas en suspensión (PM10), observadas en una muestra referida a 124 ciudades; o las informaciones del Gobierno británico que apunta la cifra de 10.000 muertos anuales a causa de los gases de escape en Inglaterra y Gales (EEA, 2002). Diversos estudios realizados sobre ciudades españolas (APHEIS, 2002) ponen, así mismo, de manifiesto la relación existente entre la contaminación y el aumento de la mortalidad.

La gravedad de estos resultados ha movido a la autoridades a tomar una serie de medidas tendentes a reducir los efectos negativos y proteger la salud de las personas. En la Unión Europea, estas medidas implican dos tipos de acciones: por un lado una legislación cada vez más restrictiva, que trata de aproximar los límites de inmisión de los diferentes contaminantes a los niveles reales de riesgo definidos por la OMS; por otra, una política que permita informar a la población de las situaciones de riesgo, mediante la definición de indicadores e índices de calidad del aire, fácilmente comprensibles.

En este contexto presentamos nuestro trabajo que se centra en el estudio de la contaminación atmosférica en Madrid, la ciudad más importante de la Península Ibérica con una población cercana a los tres millones de habitantes. El objetivo fundamental consiste en analizar la contaminación atmosférica, su evolución y las características actuales aplicando los índices de calidad del aire propuestos en las nuevas normativas de la Agencia Europea para el Medio Ambiente, que entrarán en vigor en los próximos años.

El trabajo que presentamos trata de sintetizar los diferentes aspectos físico- ambientales que caracterizan el área de Madrid y que vienen siendo analizados por nosotros desde 1981 con numerosas publicaciones recogidas en la bibliografía sobre el clima urbano, la confortabilidad térmica y la contaminación en Madrid. En esta primera parte nos centraremos en el análisis y evaluación de la calidad del aire de Madrid, más adelante abordaremos otros aspectos, como la influencia de la isla de calor sobre el confort térmico.

METODOLOGÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Los indicadores de la calidad ambiental

La Agencia Europea para el Medio Ambiente y la Organización Mundial de la Salud, a través de su oficina regional para Europa, han desarrollado en los últimos años una serie de índices, con el fin de evaluar la calidad ambiental en las diferentes ciudades de la Unión Europea (EEA, 2001 y 2002, WHO 2000, 2002 y 2004). El objetivo es establecer unas categorías de calidad del aire, aplicables a un espacio concreto o a un día determinado, a partir de la información suministrada por las redes de vigilancia de la contaminación y los umbrales fijados por la legislación. Como referencia se toman los cinco contaminantes considerados los más peligrosos para la salud (SO₂, CO, PM₁₀, O₃ y NO₂) y los valores de referencia son fijados por la legislación vigente.

La normativa europea (1999/30/EC) define *un valor límite (VL)* y *dos valores denominados Umbral de Evaluación Superior (UES) y Umbral de Evaluación Inferior (UEI)*. El valor límite, indica la máxima concentración que puede alcanzarse sin que se produzcan daños a la población; por su parte, los umbrales de evaluación son dos valores, siempre por debajo del valor límite, que sirven como referencia para establecer el tipo de medidas preventivas que deben tomarse en una zona concreta:

- *El Umbral de evaluación superior (UES)* es el nivel marcado para cada contaminante, por debajo del cual puede utilizarse una combinación de mediciones y técnicas de estimación para evaluar la calidad del aire ambiente. Por encima del Umbral de Evaluación superior, se debe proceder a realizar mediciones en continuo.
- *Umbral de evaluación inferior (UEI)* es el nivel marcado para cada contaminante, por debajo del cual es posible limitarse al empleo de técnicas

de estimación mediante el empleo de modelos de simulación para evaluar la calidad del aire ambiente (Diario Oficial de la CE (13/12/2000).

La fijación de estos umbrales se ha realizado a partir de los estudios experimentales realizados por los diferentes grupos científicos u organismos especializados como la Organización Mundial de la Salud y los valores aparecen recogidos en el cuadro 1:

CUADRO 1. INDICADORES DE LA CALIDAD AMBIENTAL SEGÚN LA NORMATIVA EUROPEA (1999/30/EC)

Contaminante	VL	UEI	UES	Parámetro	Unidad
SO ₂	125	50	75	Media diaria	µg/m ³
NO ₂	40	26	32	Media anual de las medias diarias	µg/m ³
	200	100	140	Máximo horario en 24 horas	µg/m ³
PM ₁₀	40	20	30	Media diaria	µg/m ³
CO	10	5	7	Media 8 horas	µg/m ³
Ozono	120	80	100	Media en 8 horas	µg/m ³

Los índices de calidad del aire se construyen a partir de estos valores y permiten definir cinco categorías de calidad ambiental, de acuerdo con los siguientes criterios:

1. Muy buena: El valor medido es inferior al UEI
2. Buena: El valor medido se sitúa entre el umbral de evaluación inferior (UEI) y el superior (UES);
3. Aceptable: El valor medido está comprendido entre el umbral de evaluación superior (UES) y el valor límite (VL);
4. Mala: el valor medido supera el valor límite hasta en un 50% ;
5. Muy Mala: Cuando la contaminación supera en más del 50% el valor límite.

Los efectos nocivos de la contaminación atmosférica dependen, tanto de los niveles de inmisión registrados en un lugar, como del tiempo de exposición, por ello los índices de calidad pueden ser utilizados para determinar las condiciones de calidad a corto o medio plazo. En el primer caso, se trata de detectar los episodios de elevada contaminación, cuya duración es de uno o varios días y dependen fundamentalmente de la persistencia de situaciones meteorológicas de fuerte estabilidad; a medio plazo, el objetivo consiste en evaluar las condiciones ambientales en periodos más largos, generalmente un año, cuyas causas fundamentales no son tanto las condiciones meteorológicas,

sino el tamaño de la población, las actividades desarrolladas y las condiciones climáticas medias. Ambas situaciones representan un factor de riesgo, sin embargo se ha insistido más en el análisis de la contaminación a corto plazo porque sus efectos son mucho más inmediatos, la población los detecta fácilmente y la legislación obliga a las administraciones públicas a mantener informada a la población. No obstante, los más recientes estudios ponen de manifiesto la importancia de la contaminación a medio plazo sobre la mortalidad y la morbilidad y por ello la Agencia Europea para el Medio Ambiente, en sus últimos informes, presta especial atención a los valores medios anuales como indicadores de la calidad ambiental en las principales ciudades europeas. En nuestro estudio seguiremos esta línea y analizaremos las condiciones ambientales medias del área madrileña, a partir de los índices de calidad construidos con los valores anuales de los principales contaminantes. Más adelante estudiaremos los episodios de elevada contaminación, su frecuencia y los factores meteorológicos a los que se hayan asociados.

Datos y fuentes

La base fundamental para la realización de un análisis de la contaminación atmosférica es la existencia de una red de medidores de los contaminantes. En Madrid existen dos redes, una del Ayuntamiento de la Capital y la otra de la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno Autónomo. La red municipal la forman 27 estaciones situadas dentro de los límites municipales de la ciudad; la dependiente de la Comunidad incluye 17 estaciones localizadas en el resto del área madrileña. Es una de las más modernas y completas de Europa y toda la información se encuentra integrada en el "Sistema de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica y Acústica" y en el Sistema de Información Medioambiental (SIM), a través del cual se puede acceder a la información en tiempo real o a la base de datos histórica de la red.

Para nuestro estudio hemos utilizado la información horaria de cada una de las estaciones y a partir de ellos hemos obtenido:

- Las medias diarias en 24 horas del dióxido de azufre (SO₂) y partículas de diámetro inferior a 10 micras (PM10);
- El máximo horario en 24 horas para el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el ozono (O₃);
- La media diaria de ozono para el intervalo de 8 horas comprendido entre las 12 y las 19 horas, periodo en el que, normalmente, se alcanzan las máximas concentraciones de este contaminante;

- La media más elevada de las tres medias octohorarias calculadas en el intervalo de 24 horas para el CO.

En todos los casos se ha considerado como válidos únicamente aquellos días en los que los valores horarios disponibles eran igual a 24, en el caso de NO₂ y partículas, o superior o igual a 20, en el caso del ozono. En este último contaminante, la mayor parte de las lagunas se localizan en las horas nocturnas cuando la actividad fotoquímica es mínima y difícilmente se alcanzan valores elevados.

A partir de esta base de datos se han obtenido los estadísticos de cada contaminante, necesarios para caracterizar la calidad ambiental del área de estudio, de acuerdo con los criterios de la normativa europea, a que hicimos referencia en apartados anteriores. Hemos creado dos series temporales: una comprende el periodo 1980- 2003, otra con datos de 2000 a 2003. La primera se ha elaborado con los datos de las estaciones que cuentan con series continuas desde la fecha inicial y que no han cambiado de emplazamiento en el periodo considerado; en total han sido 15 estaciones pertenecientes a la red municipal y con ellas se ha evaluado la tendencia de la contaminación atmosférica en el conjunto urbano. Para el periodo 2000-2003 se han utilizado los datos de todas las estaciones y con ella hemos analizado las características actuales de los principales contaminantes en el área madrileña.

Como herramienta adicional, hemos utilizado el Sistema de Información Geográfico ArcGis 8.3, para visualizar la localización de las estaciones de contaminación y evaluar la calidad ambiental en los diferentes barrios de la ciudad de Madrid.

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

Dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO)

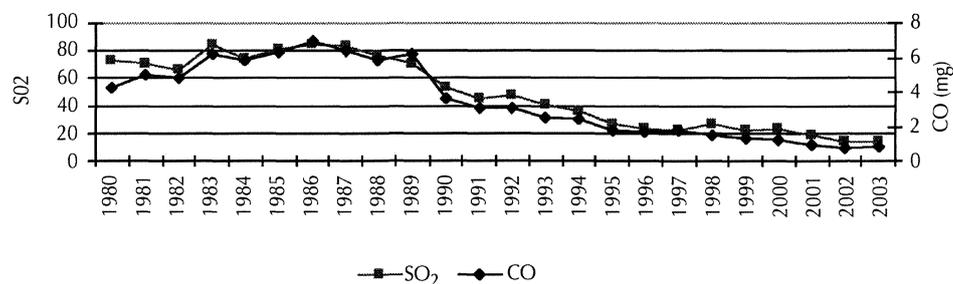
Rasgos generales. Los primeros estudios de contaminación urbana tenían como referencia estos dos contaminantes, el SO₂ relacionado con las emisiones procedentes de las calderas de calefacción y el CO con el tráfico rodado. En función de ello la contaminación urbana de Madrid presentaba una clara estacionalidad, con máximos en invierno y mínimos en verano, y una clara diferenciación espacial entre el centro y la periferia urbana; con bastante frecuencia se registraban episodios de elevada contaminación en los meses

invernales asociados a situaciones anticiclónicas (López Gómez y Fernández García, 1981; Fernández García y Galán Gallego, 1995; Fernández García, 1996, 1999 y 2001). En la actualidad esta situación ha cambiado radicalmente debido a las medidas tomadas por parte de la administración para reducir las emisiones de ambos contaminantes, como la sustitución del carbón por gasóleo y gas natural en las calefacciones, el uso de gasolinas con menos elementos contaminantes y el rejuvenecimiento del parque automovilístico.

La evolución de las medias anuales correspondientes al conjunto de estaciones de la red urbana que han registrado datos desde 1980, muestra un primer periodo con valores muy altos en ambos contaminantes, que llega hasta 1990; a partir de ese año se inicia un descenso continuado hasta 2003 (gráfico 1). Como resultado de ello, en los tres años analizados (2001-2003) los valores se mantienen muy por debajo de los establecidos por la normativa europea (cuadro 2), no se ha registrado ningún día con índices de calidad superior a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y más del 96% se sitúan por debajo de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, indicativo de una buena calidad, en relación a ambos contaminantes.

GRÁFICO 1. EVOLUCIÓN DE LAS MEDIAS ANUALES PARA EL CONJUNTO URBANO EN MADRID DE SO_2 Y CO (1980-2003).

(Fuente: Elaboración propia a partir de los datos horarios de la RVCA, de Madrid)



CUADRO 2. VALORES LÍMITES PARA LA PROTECCIÓN A LA SALUD, DE ACUERDO CON LA NORMATIVA EUROPEA (DIRECTIVA COMUNITARIA 2000/69/CE)

Contaminante	Límite	Periodo	Criterio	Aplicación
SO ₂	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media diaria	No debe ser superado más de 3 días/año	2005
	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media horaria	No debe ser superado más de 24 horas/año	2005
CO	10 mg/m^3	Media 8 horas		2005

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Rasgos generales. Los óxidos de nitrógeno proceden de la combustión del fuel, que da lugar a monóxidos de nitrógeno (NO). En presencia del aire el NO se oxida y da paso a NO₂, que a su vez sirve de precursor para el ozono en un proceso complejo en el que intervienen diversos factores como la intensidad de la radiación solar, la distancia de las fuentes de emisión, el tiempo de permanencia y la presencia de otros compuestos químicos.

Las principales fuentes de emisión son el tráfico rodado, las centrales eléctricas y las calderas industriales, que producen entre el 37 y 57% de las emisiones en Europa. En las ciudades las fuentes más importantes y la que representa mayor peligro para las personas proceden del tráfico rodado, que emite a ras del suelo y provoca las mayores exposiciones. Consecuencia de ello son daños en el pulmón, disminución de la capacidad respiratoria y aumento de las alergias; también un aumento de la mortalidad y morbilidad, si bien no como causante directo, sino en combinación con otros contaminantes.

En Europa una gran parte de la población está expuesta a niveles de NO₂ superiores a los admitidos y esto es especialmente significativo en las áreas urbanas. La tendencia parece mostrarse estable, en medias anuales, con pequeñas oscilaciones interanuales ligadas a condiciones meteorológicas concretas (EEA, 2002).

Valores límites e índices de calidad ambiental

La legislación actualmente vigente desde 1987 (R.D. 717/1987, de 27 de mayo), deberá ser sustituida por la directiva europea 1999/30/EC. En ella los valores límites para la protección a la salud se fijan en función de la media anual, que no debe rebasar los 40 µgr/m³, y valores máximos en una hora de 200 µgr/m³, que no pueden ser superados en más de 18 horas al año. Esta normativa deberá entrar en vigor en 2010.

Como indicadores de calidad se utilizan el valor límite diario y anual y los umbrales de evaluación inferior y superior. De acuerdo con ellos se definen los índices de calidad para caracterizar las diferentes estaciones o cada uno de los días del año, según los criterios recogidos en el cuadro 3.

CUADRO 3: INDICADORES DE CALIDAD Y DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD PARA LA PROTECCIÓN A LA SALUD, DE ACUERDO CON LA NORMATIVA EUROPEA

Indicadores de calidad del aire para el NO₂. Unidades µg/m³

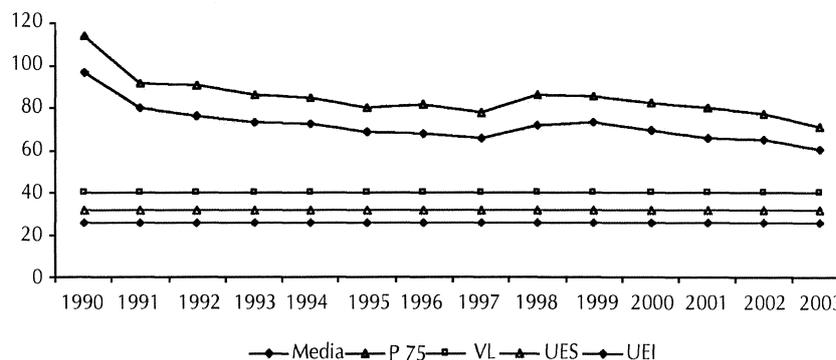
Cráteros	Medio plazo (anual)	Corto plazo (diario)
Parámetro	Media anual de las medias diarias	Máxima horaria en 24 horas
Valor límite (VL)	40	200
Umbral de evaluación superior (UES)	32	140
Umbral de evaluación inferior (UEI)	26	100

Índice de calidad ambiental		
Muy bueno	Inferior a 26	Inferior a 100
Bueno	26.1-32	100.1-140
Aceptable	32.1-40	140.1-200
Malo	40.1-60	200.1-300
Muy malo	Superior a 60	Superior a 300

La contaminación por NO₂ en Madrid

- *Evolución.* La serie corresponde al conjunto de estaciones que se han mantenido desde 1990 hasta 2003, sin cambios de emplazamiento que pudiesen distorsionar los resultados. Tal y como se muestra en el GRÁFICO 2, los valores medios anuales muestran una leve tendencia al descenso hasta 1997, ligero aumento con máximo en 1998 y nuevo descenso hasta el año 2003. La media se mantiene por encima de 60 µg/m³, por tanto superan en una proporción bastante significativa los 40 µg/m³ que fija la normativa como valor límite para este contaminante.

GRÁFICO 2: MADRID. MEDIAS ANUALES DE NO₂ (1990-2003)



(Fuente: Elaboración propia a partir de los datos horarios de la RVCA, de Madrid)

- *Situación actual (2001-2003)*. El 96% de las estaciones de la red presentan valores por encima del límite admitido, duplicando en algunos casos el valor límite (CUADRO 4). Esta situación se mantiene sin variaciones en los tres años analizados. En el resto de la Comunidad, la situación es más favorable y únicamente el 23% de las estaciones superan el valor límite y las medias anuales más elevadas se desvían muy poco de los 40 microgramos.

CUADRO 4: INDICADORES DE CALIDAD POR NO₂ EN MADRID

Contaminante NO ₂	Red Ayuntamiento de Madrid			Red de la CAM	
	2001	2002	2003	2002	2003
Total estaciones de la Red con datos válidos (*)	23	24	25	13	13
Número de estaciones con media anual superior o igual a 40 µg/m ³ (**)	96%	96%	96%	23%	23%
	91 µg/m ³	80 µg/m ³	87 µg/m ³	45 µg/m ³	52 µg/m ³
Número de estaciones en las que 18 ó más días al año, han registrado máximo horario superior 200 µg/m ³ (***)	5 22%	1 4%	4 16%	0	0
	**50 días	18 días	34 días		

*en el año 2001 las estaciones 8 y 17 tienen 193 y 201 días válidos, por tanto no han sido consideradas. El año 2003 se incorporan a la red municipal dos nuevas estaciones, que no han sido consideradas en este estudio.

** Media anual más elevada alcanzada en una estación de la red.

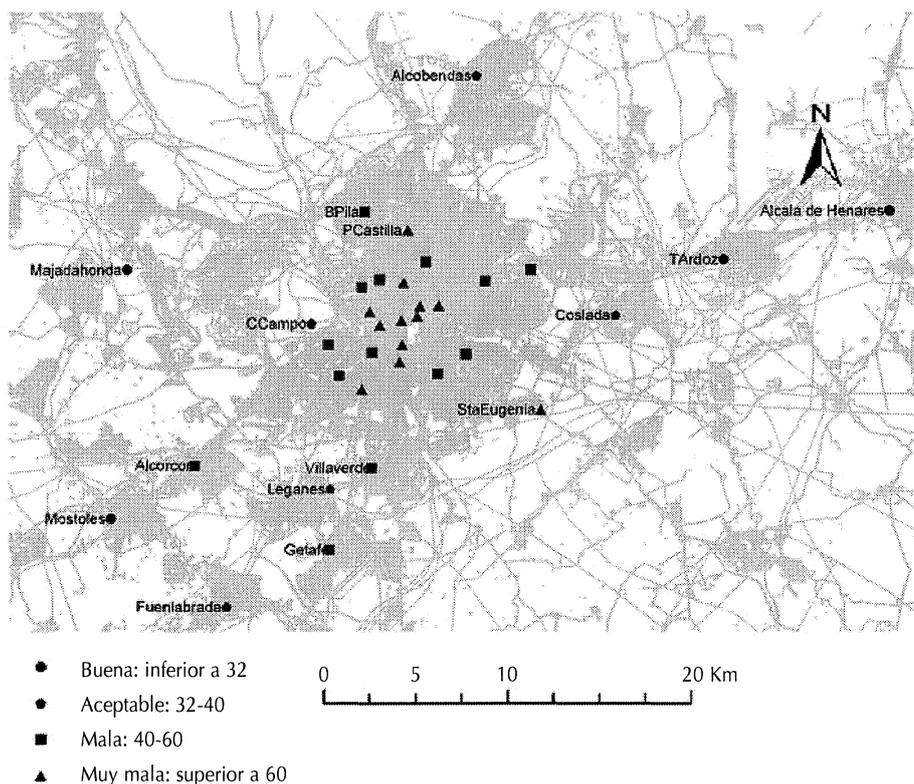
*** Máximo número de días con máximos horarios superiores a 200 alcanzado en cualquiera de las estaciones de la red.

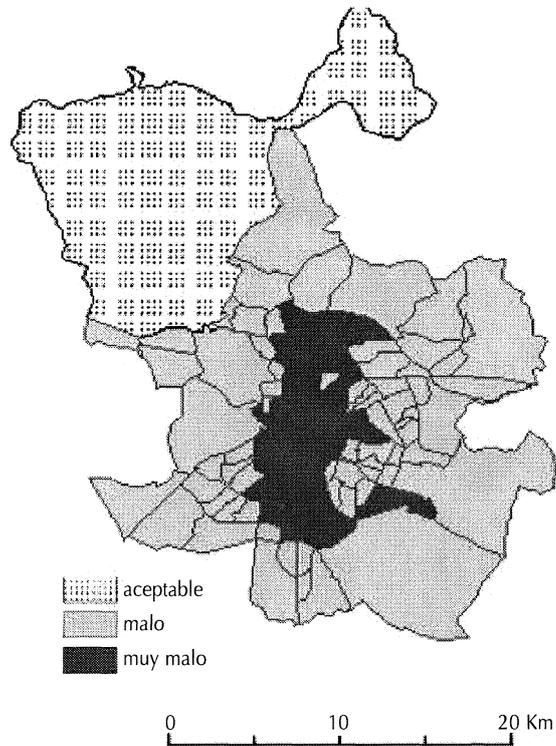
En el MAPA 1A hemos representado las estaciones de contaminación de Madrid y del área metropolitana próxima, clasificadas de acuerdo con los índices de calidad ambiental anuales, definidos en el cuadro 4. Las calidades mala o muy mala incluyen a todas las estaciones situadas dentro del perímetro urbano, exceptuando la correspondiente a la Casa de Campo, extenso parque suburbano situado al oeste de la ciudad. Las peores se localizan en el centro de la ciudad, o en las proximidades de grandes ejes de circulación como es el caso de la estación de Santa Eugenia, al SE, en posición periférica, pero muy próxima a la N-3 con un tráfico muy denso. Hacia el exterior disminuyen las concentraciones elevadas y predominan las calidades aceptables; únicamente en tres estaciones se alcanzan condiciones de calidad buena o muy buena: en Rivas Vaciamadrid, al SE de Madrid, es una estación de fondo situada en un entorno con tráfico nulo; en Majadahonda, al Oeste, es una estación urbana, pero situada en una calle ancha con tráfico muy escaso y en Móstoles al SW, ubicada en el interior de un parque (CAM, 2000).

En el MAPA 1B aparecen clasificados los 128 barrios de la capital, tomando como referencia el valor medio de NO₂ obtenido por interpolación

de los valores puntuales registrados en cada una de las estaciones de la red. Lo más destacable es que en todos los barrios se superan los índices de calidad considerados malos y en un sector muy amplio del centro de la ciudad se registran calidades muy malas. Únicamente en el Pardo, situado al norte de la ciudad y ocupado casi en su totalidad por una vegetación típica del bosque mediterráneo, las condiciones ambientales son consideradas aceptables. La población de Madrid, casi tres millones de personas, 2.938.723 según el censo de 2001, se halla expuesta a niveles de contaminación por óxidos de nitrógeno considerados peligrosos para la salud.

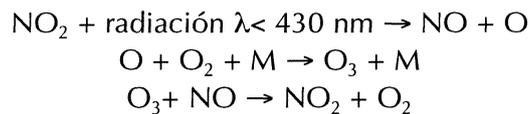
MAPA 1A. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RED DE CONTAMINACIÓN, CLASIFICADAS SEGÚN LOS ÍNDICES DE CALIDAD PARA EL NO₂



MAPA 1B. ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL POR NO₂ EN LOS BARRIOS DE MADRID

Ozono

Rasgos generales. El ozono es uno de los principales agentes oxidantes producido por la actividad industrial y por reacciones fotoquímicas en la baja troposfera. Las emisiones primarias son muy escasas y los procesos de producción de ozono implican la absorción de radiación solar por el dióxido de nitrógeno. Durante el día el ozono se forma por la interacción del oxígeno molecular con los productos derivados del dióxido de nitrógeno, según la siguiente reacción (OMS, 1980):



El NO es el principal sumidero de ozono, por ello en las zonas urbanas y durante la noche las elevadas emisiones de NO reducen rápidamente las concentraciones de este contaminante. Esta aparente simplicidad se complica debido a otros procesos que contribuyen a su aumento como son el transporte hacia la atmósfera inferior del ozono estratosférico al paso de frentes fríos y los fenómenos eléctricos atmosféricos, así como la oxidación de los hidrocarburos naturales, en cuya formación interviene de forma acusada las coníferas y otras especies vegetales (OMS, 1980; SAEGER, 1996).

Presenta un ritmo característico con máximos en verano, por lo que se conoce como "smog estival"; durante el día los valores más altos se alcanzan en las horas centrales, coincidiendo con las máximas temperaturas y las zonas más afectadas son las áreas rurales, próximas a los grandes centros urbanos, donde se genera la mayor parte de los precursores.

Su presencia en el aire causa importantes impactos negativos sobre la salud, los ecosistemas, los cultivos y los materiales. Los estudios sobre toxicidad demuestran que la inhalación de ozono puede ser dañina para los pulmones y las vías respiratorias y parece existir una relación directa entre los episodios de elevadas concentraciones de ozono y un aumento de mortalidad y morbilidad, así como irritaciones y empeoramiento de los enfermos con problemas respiratorios. En el año 1999, de acuerdo con el informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA, 2002) los umbrales de protección a la salud fueron sobrepasados en el 30% de las áreas urbanas y en el 38% de las rurales, con especial incidencia en los países meridionales de la Unión Europea, como consecuencia de las elevadas temperaturas estivales y del intenso tráfico viario.

Valores límites e indicadores de la calidad ambiental

La normativa europea (cuadro 5) establece como criterio de calidad el umbral de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, como media de 8 horas, que no deberá ser superada en 25 días por año y en un periodo medio de tres años. La entrada en vigor de esta normativa está prevista para el año 2010.

CUADRO 5. OZONO: VALORES LÍMITES SEGÚN LA NORMATIVA EUROPEA Y AÑO DE APLICACIÓN (2003/3/EC)

Contaminante	Límite	Periodo	Criterio	Aplicación
Ozono	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Media 8 horas	No exceder 25 días/año*	2010
	$180 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Una hora		

* Media de los tres años precedentes

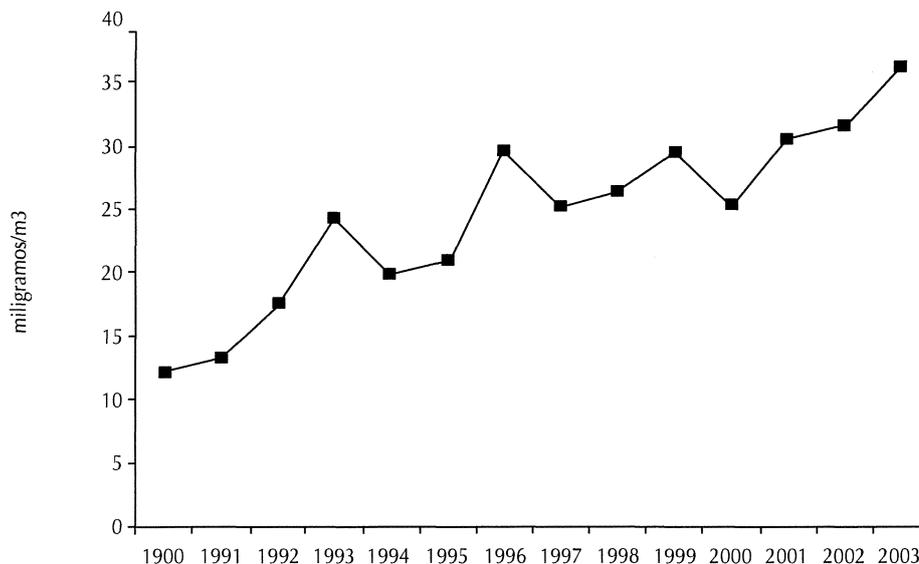
Como indicadores de calidad se utilizan:

- Las concentraciones medias en ocho horas superiores a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- Los máximos horarios superiores a $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- Los 26 valores más elevados de la media en ocho horas.

La contaminación por ozono en Madrid

Evolución. Las variaciones interanuales son muy acusadas en relación a las condiciones meteorológicas dominantes, no obstante parece observarse un incremento progresivo de los valores medios anuales, especialmente significativo en los últimos años, tal y como muestra el gráfico 3.

GRÁFICO 3: OZONO. MEDIAS ANUALES DEL CONJUNTO URBANO (1990-2003)



(Fuente: Ayuntamiento de Madrid: Memoria, ozono 2003)

Situación actual (2000-2003). La red urbana presenta lagunas muy importantes en el año 2001 y en la red de la Comunidad se realizaron importantes cambios en el emplazamiento de las estaciones entre los años 2000 y 2001, por ello sólo utilizamos los valores de 2002 y 2003, en la red de la Comunidad y los correspondientes a 2000, 2002 y 2003 en la red municipal.

En el cuadro 6 se presentan las características más importantes de la contaminación por ozono en la Comunidad de Madrid. Como hemos

señalado anteriormente, en la ciudad de Madrid son muy pocas las estaciones en las que se superan los umbrales de peligro, mientras que en el resto del área comunitaria prácticamente todas las estaciones los superan. El número de días es también muy diferente en una u otra zona, con máximos muy acusados en las áreas rurales de la Comunidad. Es interesante destacar el año 2003 en el que la frecuencia y duración de las olas de calor que afectó al conjunto peninsular disparó los niveles de ozono: los valores octohorarios superaron los 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el 88% de las estaciones urbanas (los años anteriores fueron únicamente el 32 y 24%) y el número de días llegó hasta 24, frente al máximo de 5 en 2000. En la Comunidad la situación fue más grave, puesto que todas las estaciones superaron el umbral anterior y los días con medias en ocho horas superiores a 120 alcanzaron la cifra de 163.

CUADRO 6: CONCENTRACIONES DE OZONO EN MADRID DE ACUERDO CON LA NORMATIVA EUROPEA

Contaminante: Ozono	Red Ayuntamiento Madrid				Red CAM	
	2000	2001	2002	2003	2002	2003
Total estaciones de la Red	25	***	25	25	17	17
Número de estaciones con media octohoraria (12 a 19) superior o igual a 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8 32% * 5 días	***	6 24% *4 días	22 88% * 24 días	15 88% *102 días	17 100% *163 días
Número de estaciones con máximo horario en un día igual o superior a 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	7 28% * 1 día	***		11 44% * 4 días	8 47% *13 días	13 76% *31 días

*Mayor número de días en una estación. *** datos insuficientes
(Fuente: Elaboración propia a partir de los datos horarios de la RVCA, de Madrid)

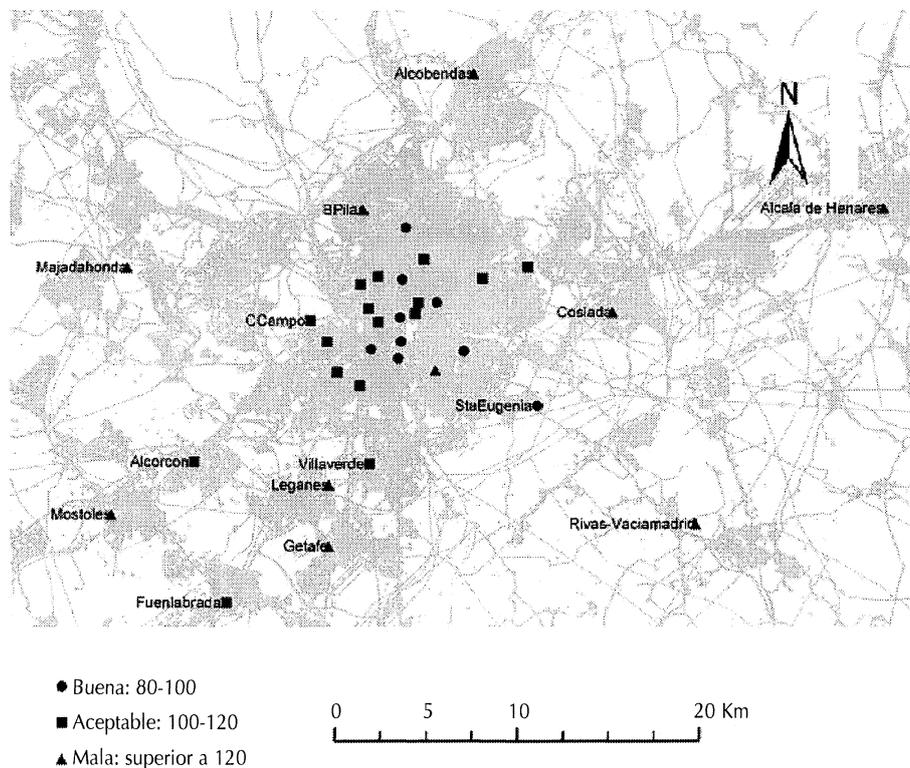
En el mapa 2A aparecen las estaciones de la red urbana y las de la Comunidad pertenecientes a los núcleos del área metropolitana próxima, clasificadas de acuerdo con el índice propuesto por la normativa europea. El parámetro utilizado es la media en ocho horas de los 26 días con mayores concentraciones de ozono y las estaciones se agrupan en cinco categorías de calidad, de acuerdo con los siguientes umbrales:

- Muy Buena: cuando la media es inferior a 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Buena: si la media se sitúa entre 80.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Aceptable: la media se sitúa entre 100.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Mala: entre 120.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Muy mala si supera los 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

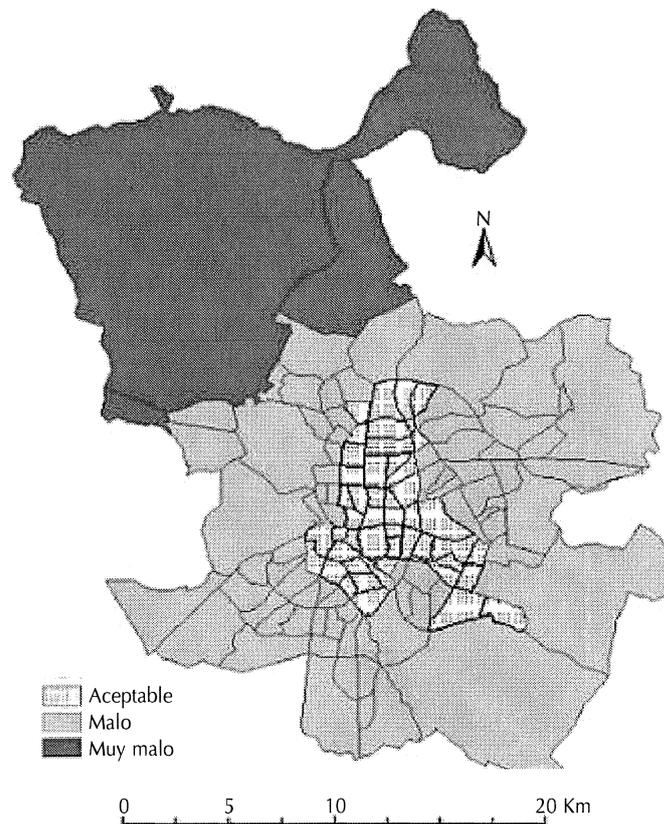
En ninguna estación se alcanzan índices de calidad muy malos y las situadas en la periferia urbana presentan, todas ellas, índices de calidad malos. Dentro del perímetro urbano de Madrid hay una mayor variedad: en ocho estaciones el índice de calidad es bueno, en dos malo y el resto pertenecen a la categoría de malo. Se observa un aumento progresivo desde el centro hacia la periferia, con un modelo de distribución espacial opuesto al del NO_2 , relacionado con los procesos de formación del ozono, a que hicimos referencia.

La caracterización de los distintos barrios de la capital (MAPA2B), confirma la tendencia que acabamos de señalar: los barrios centrales, son los que registran los índices de calidad mejores, mientras las peores corresponden a los barrios de El Pardo, El Goloso y El Plantío, situados al norte. La población afectada por el ozono es bastante más baja que en el caso del NO_2 , alcanzando la cifra de 8093 personas, de acuerdo con los datos del censo de 2001.

MAPA 2A. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RED, CLASIFICADAS SEGÚN EL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL OZONO TROPOSFÉRICO



MAPA 2B. ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL POR OZONO EN LOS BARRIOS DE MADRID



Partículas en suspensión de diámetro inferior a 10 μm (PM10)

Rasgos generales. Los estudios epidemiológicos realizados en España y otros países demuestran que la exposición a partículas continúa siendo uno de los mayores riesgos para la salud (APHEIS, 2002). Especialmente perniciosas parecen ser las de diámetro inferior a 10 y a 2.5 micras con las que aparece una clara asociación estadística entre concentraciones y el aumento de la morbilidad y mortalidad prematura. La mayor parte de las redes de vigilancia han debido adaptar sus instrumentos y métodos de medida a la nueva normativa en la que se indica que debe medirse la masa de partículas en la que el 50% tenga un diámetro inferior a 10 micras,

obtenida por el método gravimétrico. En Madrid hasta 1998 se utilizaba como método de medida el de absorción Beta por lo que, para armonizar ambos valores, deben multiplicarse los resultados obtenidos por el método gravimétrico por un factor de corrección de 1.2. (Laín, 1998, Memoria CAM).

La concentración de este contaminante resulta de la mezcla de partículas sólidas y líquidas de diferentes tamaños y composiciones, dependiendo de las fuentes de origen y de las condiciones meteorológicas. Las de origen primario son fundamentalmente de origen antrópico y proceden de las fuentes de calor, los motores diesel, la quema de madera y la producción industrial y están estrechamente relacionadas con el SO₂, NO_x, los hidrocarburos y los compuestos orgánicos volátiles. Una parte importante procede de fuentes naturales principalmente el polvo contenido en el aire, materiales volcánicos y partículas de sal procedentes de la superficie marina.

Esta compleja dinámica de emisión, transporte y formación de partículas contribuye a que se alcancen altas concentraciones en zonas tanto urbanas, como rurales de Europa, y numerosos estudios tratan de establecer la porción de estas concentraciones que es de origen natural y la derivada de la actividad humana. Estas últimas fuentes parecen ser las dominantes en las ciudades del centro y norte de Europa, sin embargo en los países del sur, con un clima mediterráneo más árido, la ausencia de vegetación y las intrusiones de aire sahariano, especialmente en verano, parecen dar más peso a las de origen natural.

Valores límites e indicadores de la calidad ambiental

Actualmente los valores límite para este parámetro vienen determinados por la directiva 80/779/CEE, transpuestas a nuestro ordenamiento a través del RD 1613/1985, de 1 de agosto, pero deberá ser sustituida por la 99/30 de la Unión europea que deberá ser aplicada en 2005, en una primera fase y en 2010 la segunda. Los valores límites de protección a la salud, tal y como aparece en el CUADRO 7, toman como referencia, por un lado, las medias anuales, de 40 µg/m³ y 20 µg/m³ en cada una de las fases, antes mencionadas; además el número de días en los que la media diaria no debe rebasar los 50 µg/m³, hasta 2005 se cifran en 35 y se reducen a 7 en 2010.

En relación a esta normativa, se establecen los siguientes niveles de calidad:

- Muy buena: los 7 días con medias en 24 horas más elevadas no supera los 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Buena: los 7 días con medias en 24 horas más elevadas se mantienen entre 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Aceptable: Las concentraciones medias en 24 horas no superan los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 36 o más días al año;
- Mala: las concentraciones medias en 24 horas oscilan entre 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 36 o más días al año;
- Muy mala cuando se superan los niveles de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 36 o más días al año.

CUADRO 7. VALORES LÍMITES PARA LA PROTECCIÓN A LA SALUD, DE ACUERDO CON LA NORMATIVA EUROPEA. (DIRECTIVA 99/30 EC)

Contaminante		Límite	Periodo	Criterio	Entrada en vigor
PM10	Fase 1	40 μm^3	Media anual	No debe ser superado más de 35 días año	2005
		50 μm^3	Media diaria		2005
	Fase 2	20 μm^3	Media anual		2010
		50 μm^3	Media diaria		2010
			No debe ser superado más de 7 días al año		

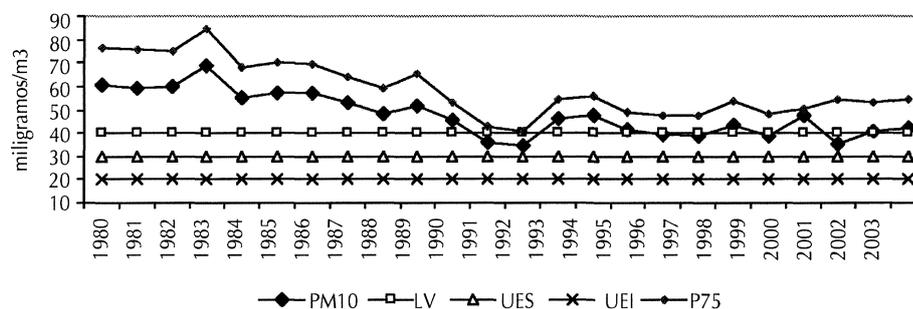
La contaminación por PM10 en Madrid

Evolución. La disminución de las concentraciones medias ha sido muy acusado, con una tendencia claramente descendente desde 1980 hasta 1992 (GRÁFICO 4). A partir de ese año las concentraciones medias se estabilizan, con pequeñas variaciones interanuales que podrían estar relacionadas con las condiciones climáticas predominantes que influyen sobre el transporte de partículas en suspensión de origen natural. En relación a los indicadores de calidad, la media del conjunto urbano se sitúa muy próxima a los valores límites y bastante por encima de los umbrales de evaluación inferior y superior.

Situación actual: El cumplimiento de los límites establecidos por la normativa europea ofrece dificultades de cumplimiento a la vista de la situación en Madrid, tal como se recoge en el CUADRO 8. En los tres años que venimos analizando se observa que todas las estaciones de la RED superan los 35 días de media superior a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y más del 50% rebasan la media anual de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; tras el descenso que se registra entre 2000 y 2001, se

inicia un repunte que se mantiene hasta 2003, año en el que se eleva al 78% el número de estaciones con media anual superior a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las especiales características meteorológicas de este año 2003, en concreto la prolongada e intensa ola de calor que afectó a gran parte del territorio durante el verano, pueden haber contribuido a este repunte en las concentración de partículas. De hecho, los días con concentraciones medias superiores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, durante el semestre cálido, fueron el 43% en 2002, pero alcanzaron el 58% en el año 2003. Cabe suponer que una parte importante de estas partículas corresponden al arrastre de polvo y otras materias de origen natural, asociadas a las intrusiones de aire sahariano, y no tanto a las emisiones de origen antrópico. Estudios recientes, sobre el origen de las partículas en Madrid (Salvador, P y col. 2004) indican que, aunque la principal fuente de emisiones de PM10 corresponde al tráfico rodado con un 48%, un elevado porcentaje, cifrado en el 26% del total, ha de ser atribuido a fuentes naturales especialmente el polvo atmosférico arrastrado por las intrusiones de aire sahariano.

GRÁFICO 4. MADRID, CONJUNTO URBANO: EVOLUCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES MEDIAS DE PM10 (1980-2003)



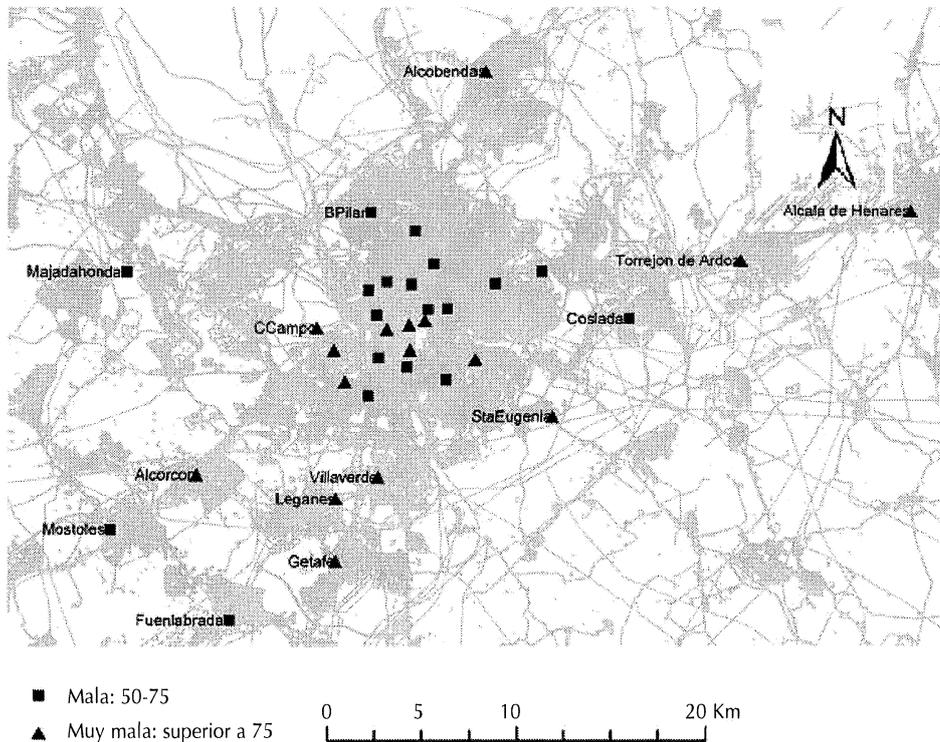
Las estaciones con índices de calidad muy mala (MAPA 3A) se localizan en los núcleos periféricos del sur y del este y dentro de la ciudad, afecta a un grupo de cuatro estaciones situadas en el centro y otro al oeste, que comprende la casa de Campo y dos estaciones relativamente próximas, y otras dos al SE, en el límite con las zonas suburbanas y próximas al eje de la N-III. La doble influencia en la formación de las partículas, el polvo en suspensión arrastrado por el viento y las emisiones de vehículos y otros medios de combustión, explicaría esta difusa estructura espacial que presentan las partículas, especialmente dentro de la ciudad.

CUADRO 8. CONCENTRACIONES MEDIAS DE PM10 EN LA RED MUNICIPAL DEL AYUNTAMIENTO DE MADRID (**)

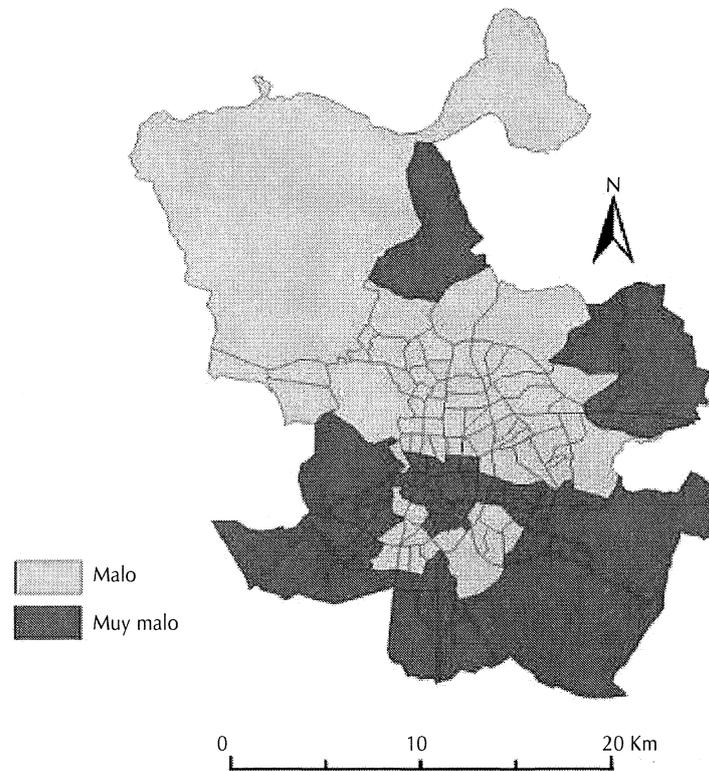
Contaminante: PM10.	Red Ayuntamiento de Madrid			Red de la CAM
	2001	2002	2003	2003
Total estaciones de la Red con datos válidos	24	23	27	13
Número de estaciones con media anual superior o igual a 40 µg/m3 (*)	12	6	21	4
	50.1 µg/m3	50 µg/m3	52.2 µg/m3	56.9 µg/m3
Número de estaciones con media anual entre 20 y 40 µg/m3	12	17	6	9
Número de estaciones con 35 o más días al año, cuya media supera los 50 µg/m3 (**)	24	23	27	13
	118 días	160 días	120 días	172 días

*Media anual más elevada. ** Mayor número de días en una estación
 **De acuerdo con el Artículo 9.5 de la Directiva 1999/30/CE, los valores obtenidos para PM10, han de ser multiplicados por 1.2 para determinar su cumplimiento con la Directiva vigente 80/779/CE. Los datos presentados en el cuadro, han sido corregidos por el factor correspondiente.
 (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos horarios de la RVCA, de Madrid)

MAPA 3A. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RED, CLASIFICADAS SEGÚN EL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LAS PARTÍCULAS DE DIÁMETRO INFERIOR A 10 MICRAS



MAPA 3B. ÍNDICE DE CALIDAD MEDIO DE LOS BARRIOS DE MADRID PARA LAS PARTÍCULAS DE DIÁMETRO INFERIOR A 10 MICRAS



CONSIDERACIONES FINALES

La preocupación por la incidencia negativa de la contaminación sobre la salud en las ciudades europeas, ha movido a la AEE a establecer unos índices, que sirvan de referencia para comparar y evaluar la calidad del aire en los diferentes países de la Unión.

En nuestro estudio, hemos aplicado estos índices, recogidos en la Directiva comunitaria (2000/69/CE) y que deberán entrar en vigor en los próximos años, para cinco de los contaminantes considerados los más representativos de la calidad del aire (SO_2 , CO , NO_2 , ozono y PM_{10}).

Se han considerado únicamente los índices anuales, por lo que los resultados hacen referencia a las condiciones ambientales medias, relacionadas con factores estructurales como el tráfico y la elevada concentración de población del área de estudio. Los resultados obtenidos podemos sintetizarlos como sigue:

Evolución: entre 1980 y 2003 se observan dos fases muy claras en las concentraciones de los cinco contaminantes considerados:

- Hasta 1990 se ha producido un descenso significativo en las concentraciones medias de los contaminantes considerados, coincidiendo con las medidas tomadas por la administración de fomentar el uso de combustibles más limpios, la renovación del parque automovilístico y la sustitución de las calefacciones domésticas de carbón por otras de gasóleo o gas natural.
- Desde 1990 y hasta 2003 las concentraciones de SO₂ y CO han continuado la tendencia descendente, mientras que el NO₂ y las partículas en suspensión se han estabilizado y el ozono muestra un ligero aumento.

Calidad ambiental en la actualidad, (2001-2003):

- Las partículas y el NO₂ aparecen como los contaminantes más peligrosos, especialmente en el área urbana de la ciudad de Madrid en la que la práctica totalidad de las estaciones de la red de vigilancia de la contaminación superan los valores límites fijados por la normativa comunitaria y en todos los barrios de la capital los índices de calidad asociados a ambos contaminantes corresponden a las categorías de malas o muy malas.
- Especialmente, las mayores concentraciones de NO₂ se localizan en los barrios centrales en los que predomina el índice de calidad considerado muy malo, mientras que en el caso de las partículas las peores condiciones se dan en los barrios periféricos del sur y este de la capital.
- El ozono presenta una distribución espacial opuesta a la del NO₂, como era de esperar por los mecanismos de formación de este contaminante: en la ciudad de Madrid predominan calidades buenas o aceptables, mientras que en el área metropolitana la mayor parte de las estaciones registran índices de calidad malas.

Recibido 22.04.05

Aceptado 04.07.05

BIBLIOGRAFÍA

APHEIS (2002): *Health impact assesment of air pollution in 26 european cities. Air pollution and health: a european information system. Second year report 2000-2001*. Institut de Veille Sanitaire. Saint Maurice Cedex. 225 pp.

- E. ÁLVAREZ · F. DE PABLO · C. TOMÁS · L. RIVAS (2000): "Spatial and temporal variability of ground-level ozone in Castilla-León (Spain)". *Int J Biometeorol* 44, pp. 44–51
- ARROYO ILLERA, F. Y FERNÁNDEZ-GARCÍA, F. (1992): "Consideraciones sobre la valoración educativa de la confortabilidad ambiental de la ciudad". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles (AGE)*. V. 14, pp. 67-84.
- AYUNTAMIENTO DE MADRID (1982): *Plan de saneamiento Atmosférico. Red automática de control*. Delegación de Saneamiento y Medio Ambiente. Documento nº 5. 79 pp.
- AYUNTAMIENTO DE MADRID (2004): *El aire en Madrid. Año 2003*. Delegación de Saneamiento y Medio Ambiente.
- BERT A. BANNINK (2001): *Air quality Annual topic update 2000*. Copenhagen, European Environment Agency, 25 pp.
- BURÓN, J.M, LÓPEZ, J.M y cols. (2004): "Estimation of road transportation emissions in Spain from 1988 to 1999 using COPERT III program". *Atmospheric Environment* 38, pp. 715 –724
- CAM (2001): *La calidad del aire en la comunidad de Madrid: periodo 1995-2000*. Comunidad Autónoma de Madrid. Consejería de Medio Ambiente. Dirección General de Calidad y Evaluación ambiental. 61 pp.
- CAM (2002): *Estudio de correlación de partículas en suspensión en la Comunidad de Madrid. Año 2001*. Comunidad Autónoma de Madrid. Consejería de Medio Ambiente. Dirección General de Calidad y Evaluación ambiental. 39 pp.
- CAM (2002): *Red de control de la calidad del aire de la Comunidad de Madrid. Ubicación de las estaciones*. Comunidad Autónoma de Madrid. Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid, 36pp.
- EPA (1999): "Air quality Index report". *Environmental Protection Agency*. V. 64, 149, pp. 42530-42549.
- EEA (2001): *Air quality in larger cities in the European Union A contribution to the Auto-Oil II programme*. (Aalst, R. Coord.). European Environment Agency. Topic report 3/2001 55 pp.
- EEA (2002.1): *Air quality in Europe State and trends 1990–99*. (Aalst, R. Coord.). European Environment Agency. Topic report 4/2002 83 pp.
- EEA (2002.2): *Air pollution by ozone in Europe in summer 2002. Overview of exceedances of EC ozone threshold values during the summer season April–August 2002*. (Jole, A. y Aalst, R. Coords.). European Environment Agency. Topic report 6/2002, 23 pp.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F Y GALÁN GALLEGO, E (1995): "Clima y contaminación atmosférica en Madrid". *Estudios Geográficos*, LVI, 219, pp. 263-284.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. GALÁN, E. y CAÑADA, R. (Coord.1998): *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas*. Madrid, Parteluz. 606 pp.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1989): "La contaminación atmosférica en la ciudad: El caso de Madrid". En *Lecturas sobre Medio Ambiente* (Arroyo Ilera, coord.). Edic. Universidad Autónoma. pp. 98-108.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F.-(1996): "La contaminación atmosférica como factor de riesgo: el caso de Madrid". *Revista de Geografía Física Aplicada no Ordenamento do Território e Gestão de Riscos Naturais*. N. 3, pp.15-24.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F.(1999): "Las modificaciones climáticas producidas por la ciudad: contaminación y clima urbano". *El malestar ambiental en la ciudad* (B. Tello coord.). Madrid, UAM-Ediciones. Cuadernos del ICE. pp. 65-86.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (2001). "Clima y calidad ambiental en las ciudades: propuesta metodológica y aplicación al área de Madrid", en *Proyectos y métodos actuales en Climatología* (Raso, J. M y M. Vide, J. eds.). Barcelona, Publicación de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie B, nº 1, pp. 41-66.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (2001-2002): "El clima urbano de Madrid y su influencia sobre el confort térmico". *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, T. CXXXVII-CXXXVIII, pp. 169-185.

- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. Y RASILLA, D. (1998): "Relationships between synoptic scale atmospheric circulation and ozone concentration in Madrid (Spain)" in *Preregional conference Meeting of the comission on Climatology. International Geographical Union*. Evora.
- P. H.FISCHER, B. BRUNEKREEF AND E. LEBRET (2004): "Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands". *Atmospheric Environment* 38, pp. 1083 –1085
- GARCÍA, J.C Y ALBERDI, J.C. (2004): "Impacto de la ola de calor del año 2003 en la mortalidad en el municipio de Madrid. Un análisis espacio temporal". *Geosanidad*, 10, pp.
- GEHRIG, R., AND BUCHMANN, B. (2004): "Characterising seasonal variations and spatial distribution of ambient PM10 and PM2.5 concentrations based on long-term Swiss monitoring data". *Atmospheric Environment* 37, pp.2571-2580
- J.GULLIVER, D.J. BRIGGS (2004): "Personal exposure to particulate air pollution in transport microenvironments". *Atmospheric Environment* 38, 1 –8
- S. S. JENSEN, R.BERKOWICZ, H. STEN HANSEN AND O. HERTEL (2001): "A Danish decision-support GIS tool for management of urban air quality and human exposure". *Transportation Research Part D: Transport and environment*, V 6, Issue 4, pp. 229-241
- LÓPEZ GÓMEZ, A. Y FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1981): "La contaminación atmosférica: distribución espacial y variaciones estacionales". En *Madrid: Estudios de Geografía Urbana*. Madrid, Instituto Juan Sebastián Elcano-CSIC pp. 71-100.
- MARIANNE E. HAZENKAMP-VON ARX Y COL. (2004): "PM2.5 and NO₂ assessment in 21 European study centres of ECRHS II: annual means and seasonal differences". *Atmospheric Environment* 38, pp.1943-1953
- MEDINA, S, PLASENCIA, A. y COLS. (2002). "Madrid city report". *APHEIS: Health impact assesment of air pollution in 26 european cities.. Air pollution and health: a european information system. Second year report 2000-2001*. Institut de Veille Sanitaire. Saint Maurice Cedex. 225 pp.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (1996): *II Seminario calidad aire en España: armonización de criterios para su vigilancia y control*. Puertollano, MMA, V1, pp. 55-70
- OMS (1980).- *Criterios de salud ambiental. Oxidantes fotoquímicos*. Méjico, OPS-OMS.
- SÁNCHEZ MURÍAS, B. y otros (1988): *Red Nacional de Vigilancia y Prevención de la contaminación atmosférica*. Ministerio de Sanidad y Consumo, Instituto de Salud Carlos III. 94 pp.
- ROEL VAN AALST y cols. (2001): *Air quality in Europe. State and trends 1990–99*. EEA, Topic Report 4/2002
- SALVADOR, P., ARTIÑANO, B. y cols (2004): "Identification and characterisation of sources of PM10 in Madrid (Spain) by statistical methods" *Atmospheric Environment* 38, pp.435 –447
- SAGER, E. (1996): "Directiva europea y fenomenología del ozono" en *II Seminario de calidad del aire en España*. Ministerio de Medio Ambiente. Puertollano (Ciudad Real). V.II, pp. 127-130.
- J. R.STEDMAN (2004): "The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heatwave". *Atmospheric Environment* 38, pp. 1087 –1090
- WAN-LI CHENG, YU-CHIH KURO Y COLS. (2004): "Revised air quality index derived from an entropy function". *Atmospheric Environment* 38, pp. 383 –391
- WHO (2000): *Environmental Health Indicators: Development of a Methodology for the WHO European Region*. Interim report 6 November 2000 (EUR/00/5026344).
- WHO (2002): *Environmental Health Indicators for the WHO European Region.Update of methodology*. World Health Organization Regional office for Europe. May 2002, (EUR/02/5039762).
- WHO (2004): *Environmental health indicators for Europe. A pilot indicator based report..* World Health Organisation for European Region. Junio, 2004, 58 pp.

Resumen

Contaminación atmosférica y calidad del aire en madrid: análisis de las concentraciones de SO₂, CO, NO₂, ozono y PM₁₀ (1980-2003)

En este artículo analizamos la calidad del aire en Madrid a partir de los límites propuestos por la Directiva europea (1999/30/EC) para el SO₂, CO, NO₂, PM₁₀ y ozono. Los resultados más importantes han sido: una clara tendencia descendente en las concentraciones medias entre 1980 y 1990; a partir de ese año las concentraciones de NO₂ y PM₁₀ permanecen estables, las del SO₂ y del CO continúan descendiendo y el ozono aumenta. En el periodo 2001 y 2003 las medias de NO₂ y PM₁₀ superan los valores límites en más del 96% de las estaciones urbanas, mientras que los mayores valores del ozono se registran en las áreas suburbanas.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, índices de calidad del aire, SO₂, CO, PM₁₀, NO₂, ozono, Madrid (España).

Résumé

Pollution atmosphérique et qualité de l'air à madrid (Espagne) : Étude des concentrations de SO₂, CO, NO₂, ozone et PM₁₀ (1980 – 2003)

Dans cet article nous avons utilisé les valeurs limites proposées par la Directive Européenne (1999/30/EC) pour le SO₂, CO, NO₂, PM₁₀ et l'ozone. Les principaux résultats sont : les concentrations moyennes annuelles ont diminué entre 1980 et 1990 ; entre 1990 et 2003, les concentrations de NO₂ et de PM₁₀ se sont stabilisées, celles de SO₂ et de CO ont continué la diminution, et la tendance de l'ozone est positive. NO₂ et PM₁₀ ont dépassé les limites dans le 96% des stations urbaines, mais l'ozone est au maximum dans les zones suburbaines proches.

Mots-clés: Pollution atmosphérique, qualité de l'air, SO₂, CO, NO₂, OZONE, PM₁₀, Madrid (Espagne).

Abstract

Atmospheric pollution and air quality in madrid (spain): analysis of SO₂, CO, NO₂, O₃ and PM₁₀ concentrations (1980-2003)

In this paper we analyse the limit values of the new EU air quality Directive (1999/30/EC) for SO₂, CO, NO₂, PM₁₀ and O₃ pollutants. The annual average concentrations are decreasing from 1980 to 1990; from 1990 to 2003, NO₂ and PM₁₀ have been stable, SO₂ and CO continuing downwards and the ozone has increased. Concentrations of NO₂ and PM₁₀ are higher of limit values in more of 96% of the urban stations, by contrast the highest concentrations of ozone occurs in the surroundings.

Key words: air quality index, atmospheric pollution, SO₂, CO, NO₂, PM₁₀, O₃, Madrid (Spain).