

territorium

territorium

territorium

territorium

REVISTA DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA
NO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E
GESTÃO DE RISCOS NATURAIS

MINERVA
COIMBRA 99

Contaminación atmosférica en Madrid y su área metropolitana

Felipe Fernandez García *

Resumo:

A poluição atmosférica como risco ambiental é apresentada neste artigo particularmente no respeitante a Madrid e sua área metropolitana. Estuda-se a evolução das emissões gasosas dando-se maior destaque à presença do ozono e salientando-se os períodos críticos.

Palavras chave:

Madrid, climatología urbana, poluição atmosférica, ozono.

Résumé:

La pollution atmosphérique en tant que risque environnemental est présentée dans cet article en ce que concerne à la ville Madrid et son aire métropolitaine. On étudie l'évolution des émissions gazeuses avec la mise en évidence de la présence de l'ozone et en montrant les périodes critiques.

Mots clés:

Madrid, climatologie urbaine, pollution atmosphérique, ozone.

Abstract:

Atmospheric pollution as an environmental risk is introduced in this article concerning Madrid and its metropolitan area. The evolution of gas emissions is studied in order to show the importance of ozone and their critical periods.

Key words:

Madrid, urban climatology, air pollution, ozone.

Contaminación del aire y bienestar humano

La contaminación atmosférica es uno de los más importantes factores de riesgo ambiental, ya que afecta a un número muy elevado de personas y constituye uno de los principales mecanismos causantes del reforzamiento del efecto invernadero natural. Los sucesivos informes del Grupo de Expertos sobre el cambio climático (IPCC) ratifican la importancia de los diferentes contaminantes emitidos a la atmósfera como los principales causantes de la modificación del sistema climático derivadas de la acción antrópica; otros informes como el del Banco Mundial sobre Desarrollo y Medio Ambiente llaman la atención sobre el hecho de que más de 2000 millones de

personas están expuestas a la contaminación por partículas y dióxido de azufre (SO₂) y más de mil millones soportan niveles considerados inaceptables por la OMS (cuadro 1).

Cuadro 1 - Población expuesta a la contaminación (millones de personas).

Grado	Partículas	SO ₂
Inaceptable	1345	1047
Marginal	163	595
Aceptable	530	737

Fuente: Informe del banco Mundial sobre desarrollo y medio Ambiente, 1992.

Los daños causados por la contaminación en la salud de un gran número de personas y en numerosos

* Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid.

sectores como la agricultura, el deterioro de edificios etc. son suficientes para considerarla como un importante factor de riesgo ambiental. A escala regional o global existe un peligro grave de degradación ambiental derivado de la contaminación atmosférica, pero son las grandes aglomeraciones urbanas las que de manera más acusada y con mayor frecuencia sufren los efectos de episodios de contaminación peligrosos para la salud de sus habitantes. De hecho, según los datos del informe sobre el medio ambiente en la Unión Europea de 1995, en el 74% de las ciudades con más de 500000 habitantes se superaron los umbrales admitidos por la legislación para el SO₂ y en el 84% los correspondientes al ozono troposférico (EEA, 1995).

Como ocurre en la mayor parte de las situaciones consideradas de riesgo, los daños causados resultan de la interacción de las actividades humanas con elementos del medio natural. En el caso concreto de la contaminación el tráfico, las calefacciones domésticas y las industrias son los principales focos de emisión de contaminantes y las situaciones de peligro grave para la población se producen cuando las emisiones alcanzan proporciones superiores a las que la atmósfera puede reciclar o transformar; las condiciones climáticas adquieren una importancia igual o superior a la de las actividades contaminantes y, de hecho, los niveles de inmisión considerados peligrosos únicamente se superan con situaciones de gran estabilidad en las que las inversiones y ausencia de viento dificultan la dispersión de contaminantes; en condiciones de inestabilidad el peligro desaparece cerca de los focos de emisión y se habla de una calidad del aire buena.

El concepto de buena o mala calidad del aire depende, sin embargo, de la escala espacial que tratemos puesto que el viento y la inestabilidad que limpian el aire sobre las aglomeraciones urbanas e industriales es la causante del transporte de los contaminantes a largas distancias, por lo que espacios teóricamente limpios o con escasos focos de emisión pueden sufrir los efectos de la contaminación. El calentamiento global como consecuencia del incremento de las concentraciones en la atmósfera de los denominados gases de efecto invernadero y la lluvia ácida son los mejores ejemplos de la influencia que la dinámica atmosférica y los grandes sistemas de vientos planetarios ejercen sobre la contaminación a escala global.

Es por ello que el problema de la contaminación se ha de abordar como un método preventivo y en los grandes eventos internacionales sobre el medio ambiente (conferencias de Río de Janeiro, Buenos Aires y Kyoto), el tema prioritario ha sido la reducción de emisiones mediante la implantación de unas tasas restrictiva a los diferentes países; en otras reuniones como la celebrada en la ciudad Danesa de Arbor en

Mayo de 1994 y en Lisboa en 1996, se plantea la necesidad de disminuir el ritmo de emisiones a unos niveles que “no superen la capacidad del aire para procesarlas y absorberlas”, lo que junto con otras medidas permitirá lo que se ha venido en llamar “desarrollo sostenible” consistente en mantener “la diversidad biológica, la salud pública y la calidad del aire, el agua y el suelo a niveles suficientes para preservar la vida y el bienestar humanos”.

La contaminación en Madrid: evolución de las emisiones

Como señalamos en otro artículo (FERNANDEZ GARCIA, F. 1996), la contaminación atmosférica en Madrid procede, fundamentalmente, de las calefacciones y el tráfico y los diversos contaminantes presentan una gran variabilidad espacial, con relación a la diversidad de tipologías urbanas y usos de suelo del conjunto urbano y una marcada estacionalidad, en la que interviene, tanto las condiciones climáticas regionales, como la periodicidad en el funcionamiento de las calefacciones y la densidad del tráfico. A pesar de ser la primera ciudad de España en número de habitantes (cerca de 4000000 considerando el área metropolitana), las emisiones totales de SO₂ son bastante inferiores a las de otras ciudades bastante más pequeñas, pero con una actividad industrial importante como es el caso de Huelva, Cartagena o Avilés; los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, procedentes del tráfico rodado, adquieren especial importancia en nuestra ciudad.

Cuadro 2 - Emisiones totales de contaminantes en diversas ciudades españolas.

Ciudad	SO ₂	Partículas	Nox	HC
Huelva	105000	15350		
Cartagena (Murcia)	80545		7250	
Avilés	24280	25152	4962	4276
Madrid	31571	24470	20906	25750

Fuente: MOP, 1993.

El carácter eminentemente urbano de la contaminación en Madrid se pone de manifiesto claramente al comparar la contribución de los diversos sectores productivos en nuestra ciudad y Barcelona, la segunda ciudad española por número de habitantes: en ambas los óxidos de nitrógeno proceden fundamentalmente del tráfico rodado y en bastante menor proporción de las industrias y de los focos de calor domésticos; en Madrid estos dos últimos ofrecen importancia similar, mientras que en Barcelona la industria aparece como el segundo sector emisor. En relación al dióxido de azufre, los focos principales son la industria y las

	Oxidos de nitrógeno (NO _x)			Dióxido de azufre (SO ₂)		
	Tráfico	Industria	Doméstico	Tráfico	Industria	Doméstico
Madrid	74	13	13	12	39	49
Barcelona	73	27	-	3	95	2

Cuadro 3 - Contribución de los diferentes Sectores a la emisión de contaminantes.

Fuente: MOP, 1993.

calefacciones domésticas, pero mientras que en Barcelona el 95% del SO₂ emitido procede de la industria, en la capital de España únicamente representa 39%, bastante inferior a los focos domésticos (cuadro 3).

En Madrid, como en gran parte de las ciudades europeas, se ha producido un descenso significativo de las concentraciones de SO₂, que se hace patente a partir de 1990, relacionado con las medidas de control de calidad de los combustibles utilizados en las calefacciones domésticas y la política municipal de sustitución del carbón por el gasóleo, primero, y de este por gas natural, después (cuadro 4).

Cuadro 4.- Evolución de las concentraciones medias anuales de SO₂ en Madrid (valores medios del conjunto de estaciones urbanas).

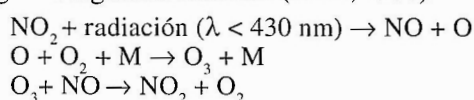
Año	SO ₂ (µm ³)	Año	SO ₂ (µm ³)
1979	74	1988	77
1980	75	1989	67
1981	74	1990	52
1982	69	1991	45
1983	81	1992	45
1984	72	1993	42
1985	81	1994	36
1986	86	1995	27
1987	83	1996	23

Fuente: elaboración propia con datos del Ayuntamiento de Madrid.

La contaminación de origen fotoquímico

Hasta hace unos años el SO₂ era el contaminante más utilizado como representativo de la calidad del aire en las ciudades, en la actualidad y especialmente en los países desarrollados, las medidas a que hicimos referencia han determinado una importante reducción lo que podría ser interpretado como una mejora sustancial en la calidad del aire. Sin embargo a partir de los estudios realizados en Los Angeles se ha observado la presencia de otros contaminantes secundarios, que afectan a numerosas ciudades con unos elevados niveles de tráfico y temperaturas elevadas. De todos ellos destaca el ozono troposférico (O₃), cuyas concentraciones, de acuerdo con los datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente se han duplicado en relación a la época preindustrial, sobretodo en los países de Europa y América del Norte (EEA, 1995).

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 ozono. 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).

El ozono troposférico en Madrid y su área metropolitana.

Los mecanismos de formación del ozono explican que las concentraciones de este contaminante sigan un ciclo diario y anual con máximos en las horas centrales del día y en los meses cálidos, en estrecha relación con las variaciones diarias y estacionales de la radiación solar. El smog fotoquímico, por tanto, sigue un ritmo diferente al producido por el SO₂, cuyos máximos son invernales relacionados con la mayor actividad de las emisiones procedentes de las calderas de calefacción y el predominio de situaciones anticiclónicas con inversiones térmicas en superficie (FERNÁNDEZ GARCÍA, F. 1995). Así mismo, estos mecanismos son los causantes de que las mayores concentraciones se observen en las áreas rurales, generalmente a sotavento de las concentraciones urbanas (OMS, 1980).

En Madrid, el análisis de las concentraciones registradas en diversas estaciones situadas dentro del conjunto urbano y en núcleos periféricos próximos, muestran patrones similares a los que acabamos de

mencionar: las máximas concentraciones de ozono (gráfico 1) corresponden a los meses estivales coincidiendo con la máxima actividad solar; especialmente se observa que en las áreas periféricas se registran sistemáticamente valores superiores a los de la ciudad, con máximos muy destacados en los núcleos situados al norte de Madrid coincidiendo con su posición a sotavento en relación a los vientos dominantes, que en nuestra región son del SW.

La estrecha relación que existe entre radiación solar y la presencia de precursores como el NO₂ es mucho más nítida al observar los ciclos diarios de ambos contaminantes, tanto en Madrid (gráfico 2), como en Alcalá de Henares, situado al NE a unos 30 Km. de distancia (gráfico 3). En ambos, el NO₂ presenta un ritmo muy relacionado con la actividad urbana con dos máximos a primeras horas de la mañana y durante la tarde en las horas en las que la

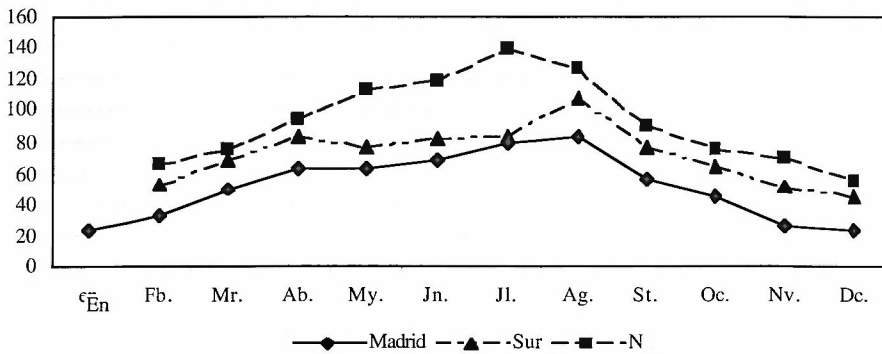


Gráfico 1 - Ozono. Medias mensuales de los máximos horarios (1995)

Gráfico 2 - Madrid. Medias horarias de NO₂ y O₃. Año 1995

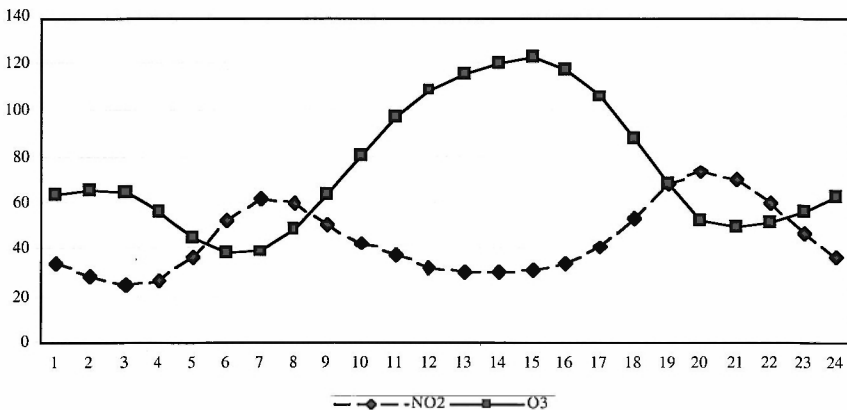
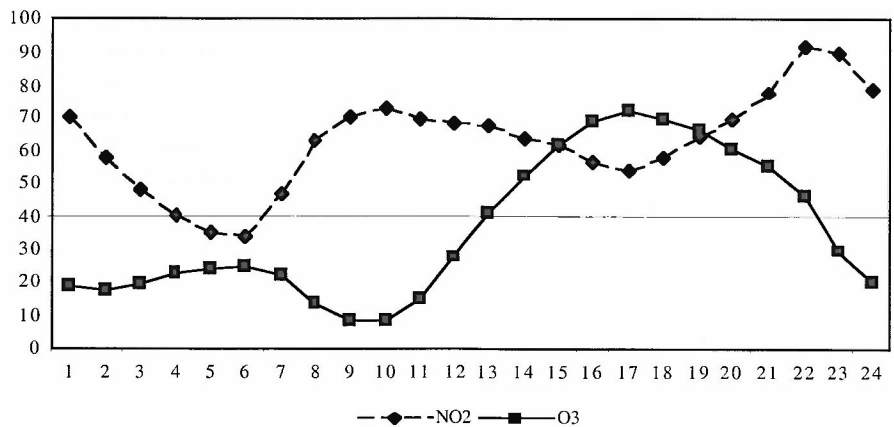


Gráfico 3 - Alcalá. Medias horarias de NO₂ y O₃. Año 1995

intensidad de tráfico es máxima; el ozono, por su parte, presenta un máximo acusado en las primeras horas de la tarde, coincidiendo con las máximas temperaturas. Entre ambas curvas se observa una relación inversa coincidiendo los mínimos de NO_2 con los máximos de ozono. Otro hecho importante a destacar es que en la ciudad el NO_2 mantiene valores mucho más elevados que en Alcalá con máximos que superan los 90 mm^3 a últimas horas de la tarde, los máximos de ozono se mantienen en torno a los 70 mm^3 ; en Alcalá no se superan los 80 mm^3 de NO_2 , pero el máximo de ozono supera los 120 mm^3 .

Podemos concluir, por tanto, que la mayor parte del ozono formado en las áreas suburbanas tiene su origen en las emisiones de NO_2 procedente de la ciudad próxima que es transportado por los vientos dominantes hacia las áreas periféricas donde se producen las reacciones necesarias para la formación del ozono superficial.

Periodos críticos

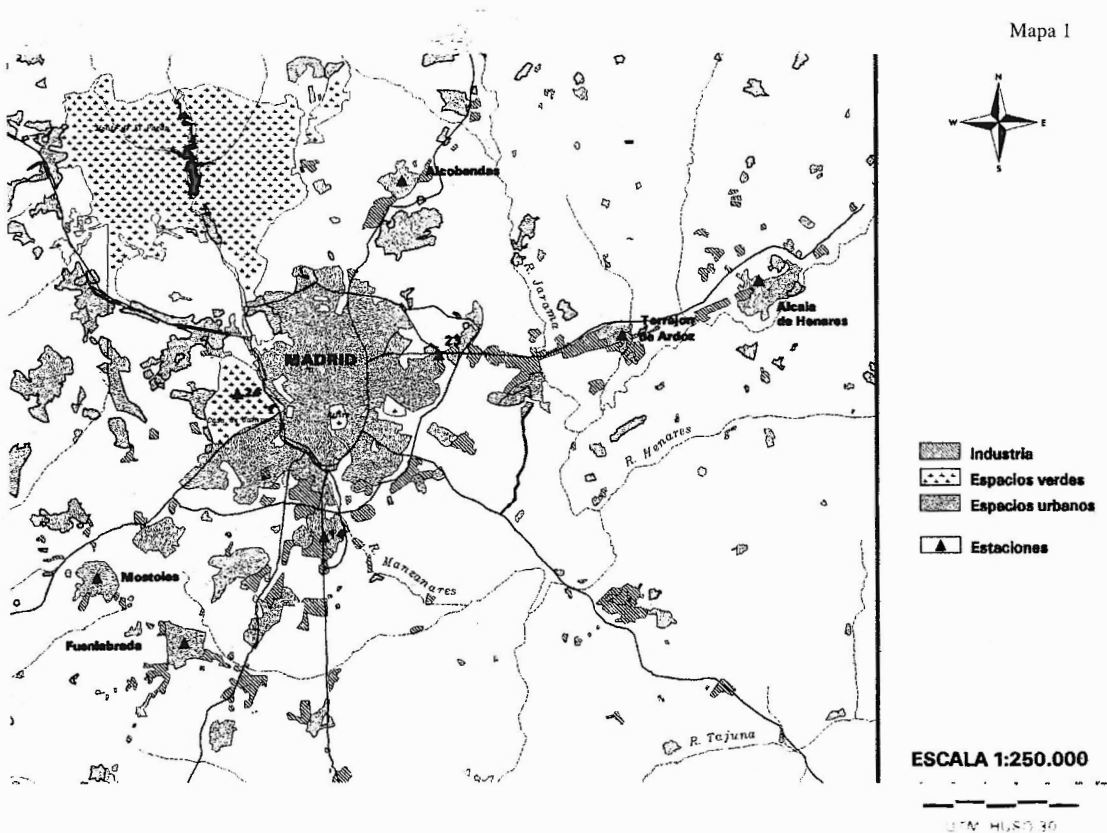
Las grandes oscilaciones diarias del ciclo del ozono, aconsejan utilizar las máximas diarias registradas en el intervalo de una hora, como indicativo de los

niveles de calidad del aire, relacionados con este contaminante. La directiva europea contempla dos umbrales: el primero, denominado de información a la población, se sitúa en 180 mm^3 ; el segundo, denominado de alerta, se produce a partir de 360 mm^3 . La organización mundial de la salud considera, así mismo, que valores horarios superiores a 120 mm^3 son indicativos de un empeoramiento de la calidad ambiental.

En nuestra zona existen dos redes de vigilancia de la contaminación atmosférica, una dependiente del Ayuntamiento y otro de la consejería de medio ambiente de la Comunidad de Madrid; de ellas hemos utilizado ocho en las que se realizan mediciones de ozono (mapa 1): tres de ellas se encuentran situadas en el interior de la ciudad (las representadas en el mapa por los números 24, 23 y 14) y cinco en núcleos periféricos próximos (Torrejón, Alcalá de Henares y Alcobendas, al Norte y Móstoles y Fuenlabrada, al sur).

Aunque las concentraciones máximas varían mucho de un año a otro en estrecha relación con las condiciones meteorológicas, parece claro que la zona más susceptible a la contaminación por ozono es la periferia norte. En el año 1995 los tres municipios situados al norte de Madrid registraron valores horarios superiores al

Mapa 1



umbral de 180, con un máximo muy acusado en Alcalá, con 54 días, frente a 2 en Alcobendas y 3 en Torrejón). Julio y Agosto son meses en los que se concentra el mayor número de días con valores superiores al umbral mencionado, aunque en Alcalá, abril ya registra un día con estas características.

En el gráfico 4 hemos representado la mediana, el percentil 98 y el máximo correspondiente al año 1995 en las estaciones urbanas y periféricas de la Comunidad. En las tres curvas se observa un descenso en las estaciones urbanas y la diferencia entre la periferia norte y la sur. La mediana se mantiene en torno a los 50 mm³ en la ciudad y ligeramente superior en el resto, salvo en Alcalá donde se triplican estos valores (próximo a los 150 mm³). Las curvas correspondientes al percentil 98 y al máximo anual en las estaciones urbanas nunca superan los 150 mm³, pero en Alcalá se aproxima a los 300.

Se deduce por tanto que es en este sector de Madrid donde mayores son los riesgos de contaminación por ozono y dentro de él en Alcalá de Henares. La posición a sotavento con respecto a la ciudad de Madrid y la presencia de un importante sector industrial próximo a estos municipios podrían explicar las elevadas concentraciones de ozono que se registran en ellos. Las industrias situadas en el denominado

corredor del Henares afectarían a Alcalá y Torrejón, mientras que al sur de Alcobendas también se localiza un importante polígono industrial (véase el mapa 1). De hecho los vientos dominantes en estos dos municipios durante los días en los que se han registrado valores de ozono superiores a 120 mm³ reflejan claramente esta influencia, siendo las direcciones predominantes del S y SW, respectivamente (graf. 5).

Consideraciones finales

De lo expuesto hasta ahora se deduce que en Madrid, como en la mayor parte de las ciudades europeas, se ha producido un descenso significativo de los contaminantes clásicos como el SO₂, debido a las medidas restrictivas respecto a los combustibles utilizados en las calefacciones domésticas.

Por el contrario los contaminantes derivados del tráfico como los óxidos de nitrógeno mantienen niveles elevados lo que favorece la formación de contaminantes secundarios como el ozono.

El verano es la época más favorable para la formación de ozono, así como las horas centrales del día, debido a la mayor radiación solar. Especialmente es en las áreas suburbanas donde se alcanzan los

Gráfico 4 - Percentiles y valor máximo de ozono en Madrid y área metropolitana. 1995

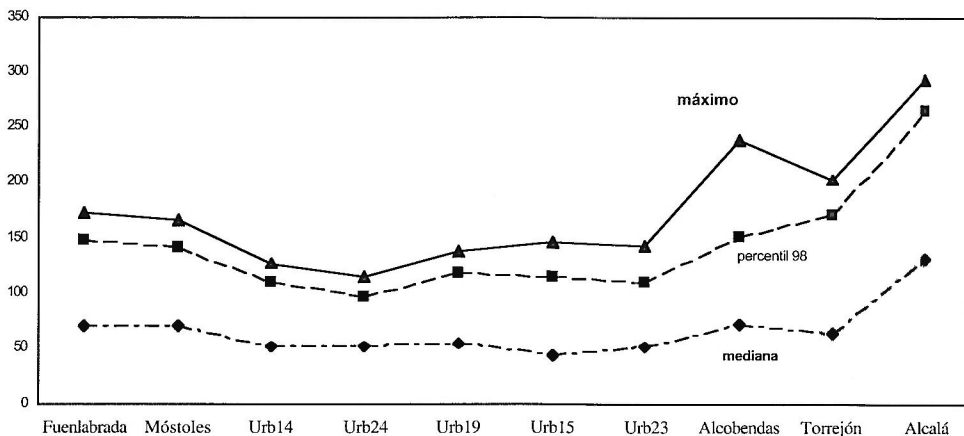
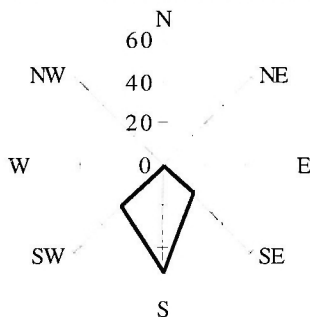
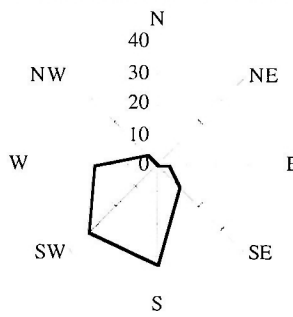


Gráfico 5

Alcobendas. Viento dominante con máximos horarios de O₃ sup. a 120



Alcalá. Viento dominante con O₃ sup. a 120



mayores niveles de ozono y, dentro de éstas, los episodios de smog más frecuentes corresponden a los núcleos situados al norte y NE de Madrid. Los mecanismos de formación del ozono explican esta diferencia espacial: en la ciudad las elevadas emisiones de óxidos de nitrógeno reduce las concentraciones máximas de ozono, mientras que el transporte por el viento de estos contaminantes favorece la formación de ozono en los núcleos periféricos próximos.

BIBLIOGRAFÍA

- Banco Mundial (1992) - *Desarrollo y medio ambiente* (World Development report. 1992). Oxford University Press.
- EEA (1995) - *Environment in the European Union, 1995*. Report for the review of the fifth Environmental action programme. Copenhagen, European Environment Agency, 1995.
- EEA (1995). *Europe's environment. Statistical compendium for the The Dobris Assesment*. Luxembourg, ECSC-EC-EAEC.
- FERNANDEZ GARCIA, F. (1989). "La contaminación atmosférica en la ciudad: El caso de Madrid". *Lecturas sobre Medio Ambiente*, Madrid, Edic. Universidad Autónoma.
- FERNANDEZ GARCIA, F. y GALAN GALLEGO, E. (1995) - "Episodios de elevada contaminación en Madrid". *Situaciones de Riesgo climático en España* (Creus, J., Coord.). Instituto Pirenaico de Ecología. C.S.I.C.
- FERNANDEZ GARCIA, F. et al. (1995) - "Atmospheric pollution in Madrid". *Climatology and air pollution*, Mendoza (Argentina). Ed. Erx-Libris.
- FERNANDEZ GARCIA, F. y GALLAN GALLEGO, E. (1995) - "Clima y contaminación atmosférica en Madrid". *Estudios Geográficos*, p. 263-284.
- FERNANDEZ GARCIA, F. (1996) - "La contaminación atmosférica como factor de riesgo: el caso de Madrid". *Territorium*, 3, p.15-24.
- Ministerio de Medio Ambiente (1993) - *Medio Ambiente en España*. Madrid, Servicio de Publicaciones del MMA.
- OMS (1980) - *Criterios de salud ambiental. Oxidantes fotoquímicos*. Méjico, OPS-OMS.

territorium 6.1999