



Un buen indicador de la contaminación urbana por causas antropogénicas

Las PM_{2,5} y su afección a la salud

Cristina Linares y Julio Díaz

A pesar de que no son medidas en muchas ciudades, las partículas en suspensión de menos de 2,5 micras (PM_{2,5}) parecen ser un mejor indicador de la contaminación urbana que las que se venían utilizando hasta ahora, las PM₁₀. Esto es debido a que, por un lado, su origen es antropogénico en una alta proporción, puesto que las PM_{2,5} en buena medida provienen de las emisiones de los vehículos diesel en la ciudad. Por otro lado, los efectos que tienen sobre nuestra salud son muy graves, por su gran capacidad de penetración en las vías respiratorias. El artículo refleja los resultados de una investigación en la ciudad de Madrid que correlaciona claramente el aumento de concentración de PM_{2,5} con el aumento de ingresos hospitalarios.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido recientemente en sus nuevos Valores Guía la recomendación de utilizar como indicador de la concentración de partículas materiales en el aire los valores de las partículas de diámetro inferior a 2,5 micras, PM_{2,5}, frente a los valores utilizados hasta ahora de las partículas de diámetro inferior a 10 micras, PM₁₀. En este trabajo se recoge el comportamiento de estas partículas PM_{2,5} para la ciudad de Madrid y su impacto en la salud a través de su influencia sobre los ingresos hospitalarios.

¿Qué son las PM_{2,5}?

El material particulado respirable presente en la atmósfera de nuestras ciudades en forma sólida o líquida (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen, entre otras) se puede dividir, según su tamaño, en dos grupos principales. A las de diámetro aerodinámico igual o inferior a los 10 µm o 10 micrómetros (1 µm corresponde a la milésima parte de un milímetro) se las denomina PM₁₀ y a la fracción respirable más pequeña, PM_{2,5}. Estas últimas están constituidas por aquellas partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a los 2,5 micrómetros, es decir, son 100 veces más delgadas que un cabello humano (ver gráfica 1).

Además, el tamaño no es la única diferencia. Cada tipo de partículas está compuesto de diferente material y puede provenir de diferentes fuentes. En el caso de las PM_{2,5}, su origen está principalmente en fuentes de carácter antropogénico como las emisiones de los vehículos diesel, mientras que las partículas de mayor tamaño pueden tener en su composición un importante componente de tipo natural, como partículas de polvo procedente

de las intrusiones de viento del norte de África (polvo sahariano), frecuente en nuestras latitudes.

Efectos de las PM_{2,5} sobre la salud

Los efectos que las partículas causan en la salud de las personas han estado históricamente asociados a la exacerbación de enfermedades de tipo respiratorio, tales como la bronquitis, y más recientemente también se han analizado y demostrado sus efectos sobre dolencias de tipo cardiovascular. Los últimos trabajos científicos sugieren que este tipo de contaminación, y particularmente las partículas procedentes del tráfico urbano, está asociado con incrementos en la morbi-mortalidad de la población expuesta y al creciente desarrollo del asma y alergias entre la población infantil.

Cristina Linares Gil, del Centro Nacional de Epidemiología, y Julio Díaz Jiménez, de la Escuela Nacional de Sanidad, ambos del Instituto de Salud Carlos III.

Una versión de este artículo ha sido publicado previamente en: C. Linares, J. Díaz: "Las PM_{2,5} y su impacto sobre la salud. El caso de la ciudad de Madrid". *Ecosostenible*. 2008;35:32-37.



En el caso de las $PM_{2,5}$, su tamaño hace que sean 100% respirables ya que viajan profundamente en los pulmones, penetrando en el aparato respiratorio y depositándose en los alvéolos pulmonares, incluso pueden llegar al torrente sanguíneo. Además estas partículas de menor tamaño están compuestas por elementos que son más tóxicos (como metales pesados y compuestos orgánicos) que los que componen, en general, las partículas más grandes.

Todo ello hace que la evidencia científica esté revelando que estas partículas $PM_{2,5}$ tienen efectos más severos sobre la salud que las más grandes, PM_{10} . Asimismo, su tamaño hace que sean más ligeras y por eso, generalmente, permanecen por más tiempo en el aire. Ello no sólo prolonga sus efectos, sino que facilita su transporte por el viento a grandes distancias.

Las partículas $PM_{2,5}$, por tanto, se pueden acumular en el sistema respiratorio y están asociadas, cada vez con mayor consistencia científica, con numerosos efectos negativos sobre la salud, como el aumento de las enfermedades respiratorias y la disminución del funcionamiento pulmonar. Los grupos más sensibles –niños, ancianos y personas con padecimientos respiratorios y cardiacos– corren más riesgo de padecer los efectos negativos de este contaminante.

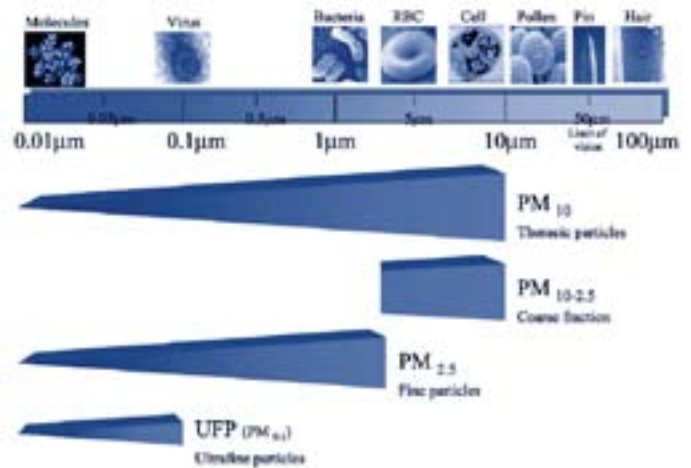
Calidad del aire en nuestras ciudades

En cuanto a los niveles de la calidad del aire en nuestras ciudades, según la normativa europea y su transposición a la legislación española en el R.D. 1073/2002, el cumplimiento del valor límite anual de PM_{10} –no superar más de 35 días al año el valor límite diario ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 h), establecido en con fecha de cumplimiento en enero de 2005– presenta problemas frecuentes en España y también en muchos países del sur de Europa. Tomando como ejemplo Madrid, ciudad con una alta densidad de vehículos –y que también se ve influenciada, en algunas ocasiones, por el aporte de polvo sahariano– no se cumple este valor límite en las condiciones actuales, como se puede observar en la gráfica 2. Este hecho también se ha producido en la mayoría de los Estados miembros, lo que ha supuesto un aplazamiento de la obligatoriedad de su cumplimiento, especialmente de la fase II que proponía límites más estrictos, en consonancia con las recomendaciones de la OMS, con fecha de cumplimiento en enero de 2010.

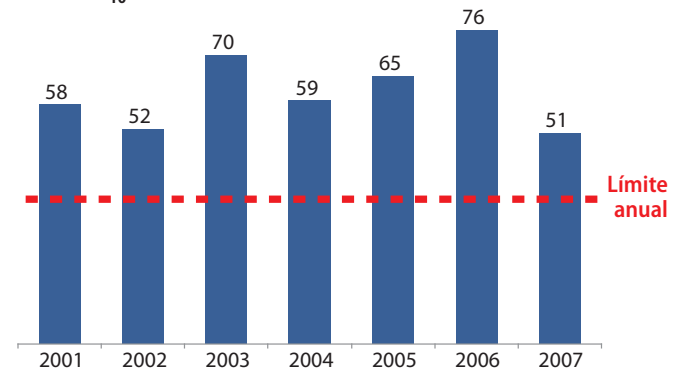
Paralelamente, la OMS en su publicación de 2006 de los Valores Guía para la protección de la salud, indica la preferencia de la utilización de las $PM_{2,5}$ como valor indicador de la calidad del aire en las grandes ciudades frente a los valores basados en las concentraciones en la atmósfera de PM_{10} . El principal argumento a favor de la utilización de este nuevo indicador se basa en que los valores actuales de PM_{10} pueden verse muy influenciados porque la zona del sur de Europa tiene menor precipitación y ventilación que la zona norte, además de darse los aportes ya comentados de material particulado procedente del norte de África. Aunque las $PM_{2,5}$ tienen también aportes de carácter natural, éstas parecen perfilarse como mejor indicador de la calidad del aire en áreas urbanas frente a las PM_{10} .

Pese a lo anteriormente expuesto, son muy pocas ciudades las que miden las concentraciones de $PM_{2,5}$ de forma rutinaria y, por tanto, son pocos los estudios que analizan y cuantifican su efecto sobre la salud. En EE UU y Japón se han publicado resultados que relacionan exposiciones prolongadas a $PM_{2,5}$ con incrementos en la mortalidad y en la morbilidad, mostrando mayor asociación que otros contaminantes primarios tradicionales como las PM_{10} o los óxidos de nitrógeno (NOx). En Madrid, comienzan a medirse en la Red de vigilancia de la contaminación atmosférica del Ayuntamiento desde el año 2003, como puede observarse en la gráfica 3. Su estacionalidad es marcadamente de tipo anual, con máximos en invierno y mínimos en verano, similar a la presentada

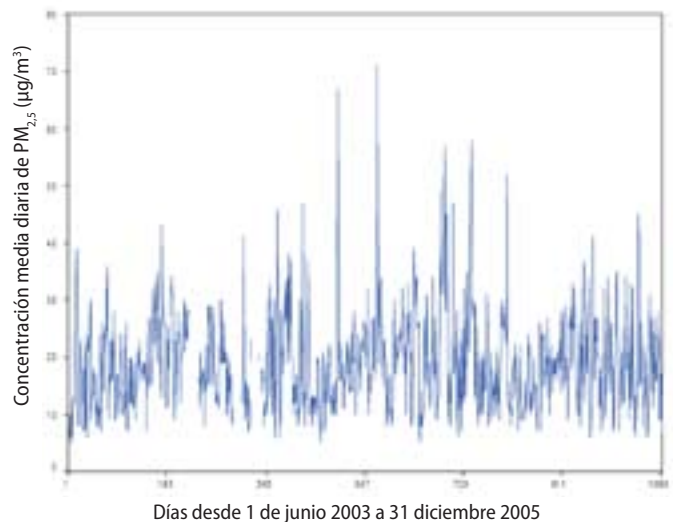
GRÁFICA 1. CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO EN LA ATMÓSFERA URBANA



GRÁFICA 2. SUPERACIONES (EN Nº DÍAS) DE LOS VALORES LÍMITE DIARIOS DE PM_{10} EN MADRID (2001-2007). Fuente: Ecologistas en Acción



GRÁFICA 3. CONCENTRACIONES MEDIAS DIARIAS DE $PM_{2,5}$ EN MADRID (2003-2005)

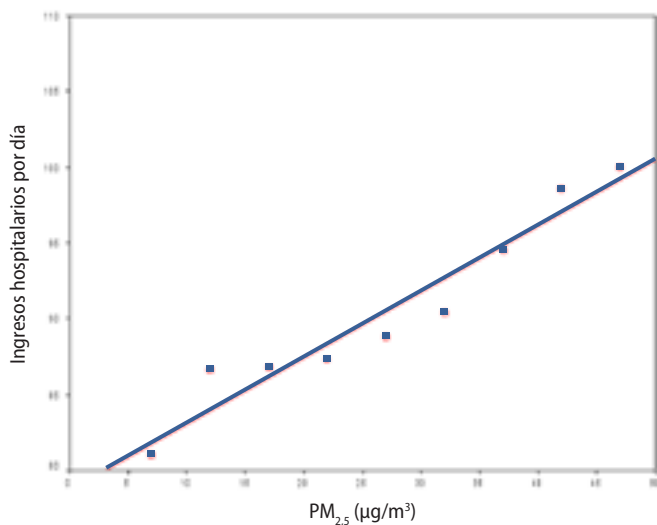


1. Los coches son los principales responsables de las emisiones de $PM_{2,5}$ en áreas urbanas. Reducir su uso, limitaría la contaminación, al tiempo que se reducirían las emisiones de CO_2 .

FOTO: ECOLOGISTAS EN ACCIÓN.

2. Las partículas son un contaminante problemático en muchas ciudades españolas.

GRÁFICA 4. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN ENTRE LA CONCENTRACIÓN MEDIA DIARIA DE PARTÍCULAS $PM_{2,5}$ Y LOS INGRESOS POR TODAS LAS CAUSAS EN EL HOSPITAL UNIVERSITARIO GREGORIO MARAÑÓN (2003-2005)



1. Protesta contra la contaminación del aire, junto a una estación de medición, en Madrid. FOTO: ECOLOGISTAS EN ACCIÓN.
2 y 3. Dos sucesos relacionados: la emisión de partículas por los coches y el aumento de asma y otros problemas respiratorios en niños y adultos.



por las partículas PM_{10} .

El valor de la concentración media diaria de $PM_{2,5}$ durante 2003-2005 en Madrid ha sido de $19,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Según los citados Valores Guía de protección para la salud de la OMS para valores medios anuales, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sería el nivel más bajo a partir del cual se ha detectado asociación entre efectos cardiopulmonares y mortalidad por cáncer de pulmón debido a la exposición prolongada a $PM_{2,5}$. Para niveles de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ este riesgo aumenta un 15%; mientras que para niveles de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la mortalidad prematura disminuye en un 6% (2-11%) con respecto al valor de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y, del mismo modo, para valores de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ este riesgo disminuye en otro 6% (2-11%) respecto a los niveles de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por tanto, con los valores encontrados para la ciudad de Madrid es de esperar la existencia de una asociación entre los valores de $PM_{2,5}$ y patologías cardiovasculares, ya que se duplica el valor inferior marcado por la OMS para valores medios anuales.

Si nos centramos en los efectos a corto plazo, es decir, para valores medios en 24 horas en el que el valor guía de la OMS está situado en $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vemos que en la ciudad de Madrid durante los tres años citados este valor se ha superado en 248

ocasiones, lo que supone cerca del 24% de los días.

Por otro lado, la fracción $PM_{2,5}/PM_{10}$ en el caso de Madrid es de 0,59, es decir, el 59% del contenido de PM_{10} lo constituyen las $PM_{2,5}$. El valor de este coeficiente es ligeramente superior al utilizado por la OMS, que establece esta proporción en 0,5, pero se encuentra dentro del intervalo propuesto para áreas urbanas en países desarrollados, que fija esta proporción en el intervalo 0,5 - 0,8. Este factor de conversión, además de indicar que la contaminación por partículas presentes en la atmósfera de Madrid tiene un componente fundamentalmente de tipo antropogénico, podría extrapolarse a otras ciudades de características similares a Madrid y que en la actualidad no miden este importante contaminante primario.

Partículas $PM_{2,5}$ e ingresos hospitalarios en Madrid

Una de las herramientas más apropiadas y utilizadas en epidemiología para evaluar el efecto de los contaminantes atmosféricos a corto plazo sobre la salud de la población, son los estudios de series temporales. Esta metodología permite analizar y cuantificar su impacto, por ejemplo, en un indicador de morbilidad como es el número de ingresos hospitalarios producidos durante un periodo determinado de tiempo.

Para ello, se ha utilizado el número total de ingresos diarios por urgencias, no programados, que se producen en el Hospital Universitario Gregorio Marañón de Madrid desde el 1 de enero de 2001 hasta el 31 de diciembre de 2005, sumando un total de 1.826 días y 148.310 ingresos. Se utilizó el número de ingresos producidos por las denominadas causas *orgánicas*, es decir, los producidos por cualquier causa (circulatoria, respiratoria u otra, excepto traumatismos o partos). Para identificar a los grupos de población más susceptibles a este tipo de contaminantes se analizaron los siguientes grupos de edad: menor de 9 años, 10-17 años, 18-44, 45-64, 65-74 y mayores de 75 años, así como el conjunto global.

Por otra parte, se han utilizado como series de variables independientes las concentraciones medias diarias de $PM_{2,5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 , NO_x y O_3 . Los datos de estas variables corresponden a las concentraciones medias diarias medidas por el conjunto de las estaciones que constituyen la Red de vigilancia de la contaminación atmosférica del Ayuntamiento de Madrid durante el periodo de estudio. Las estaciones, además, miden simultáneamente los niveles de contaminación acústica (Leq) diurna, nocturna y media que también se han tenido en cuenta puesto que otros trabajos realizados en Madrid relacionaban los niveles de ruido con los ingresos hospitalarios.

Además, se han utilizado otras variables independientes que también en estudios previos se ha probado que presentan influencia sobre el número de ingresos hospitalarios producidos en Madrid. Así, por tanto, se han tenido en cuenta las concentraciones medias diarias de polen de diferentes especies con potencial alergénico en Madrid (gramíneas, plátano, olivo y cupresáceas) proporcionadas por la Red Palinocam, variables meteorológicas (temperatura máxima y mínima diarias) suministradas por el Observatorio Meteorológico de Madrid-Retiro, e incluso los días en los que se produjeron epidemias de gripe durante el periodo de estudio, con datos facilitados por la Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid.

Tras el análisis estadístico, se determinó que el tipo de relación funcional existente entre la concentración media diaria de partículas $PM_{2,5}$ y los ingresos por todas las causas es de tipo lineal y sin umbral. Es decir, que a mayor exposición o concentración de partículas mayor es el número de ingresos, como puede observarse en la gráfica 4.

Tras el análisis cualitativo –a través de funciones de correla-



ción cruzada y la cuantificación de los efectos de las partículas $PM_{2.5}$ sobre los diferentes grupos de edad mediante modelos de regresión— se obtuvieron resultados concluyentes en cuanto a que las concentraciones de $PM_{2.5}$ son la única variable entre los contaminantes atmosféricos primarios que aparece con significación estadística en los ingresos por todas las causas y en todos los grupos de edad (ver tabla 1). Además, en todos los casos el efecto está centrado entre los retardos cero y dos, es decir, a corto plazo, de manera que los datos muestran un coeficiente estadísticamente significativo que indica que el mismo día o como mucho dos días después de producirse el incremento en la concentración media diaria de $PM_{2.5}$ aumentan los ingresos hospitalarios por todas las causas en la ciudad de Madrid.

El efecto por grupos de edad es especialmente destacable en los de mayor edad, mayores de 75 años, y en los menores de 10. Además, los Riesgos Relativos obtenidos para un incremento de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ resultan superiores a los encontrados en anteriores estudios para similares incrementos de PM_{10} que estaban en torno al 2%, cuando aquí alcanzan desde el 5% en el grupo de 45-64 años hasta el 13% en el de 10 a 17 años.

Como puede observarse en la tabla también son relevantes la influencia de las concentraciones de polen, las de ruido a corto plazo en los grupos de menor edad y el efecto de las bajas temperaturas sobre el número de ingresos hospitalarios en Madrid durante el periodo de estudio.

Conclusión

Los resultados obtenidos en este estudio indican, por tanto, que las $PM_{2.5}$ pueden considerarse como un excelente indicador de los contaminantes primarios presentes en una ciudad como Madrid, en la que gran parte de la contaminación atmosférica es de origen antrópico, debida principalmente al alto número de vehículos diesel que por ella circulan. Del mismo modo, se concluye que la magnitud de las asociaciones encontradas con los ingresos hospitalarios, así como los niveles medidos de este contaminante durante el periodo analizado, vienen a subrayar la necesidad de la adopción de medidas destinadas a disminuir las concentraciones de este contaminante en la atmósfera de Madrid, que pasan necesariamente por la reducción eficaz de su principal fuente de emisión, la alta densidad de tráfico rodado. 🌱

TABLA 1. RIESGOS RELATIVOS Y RIESGOS ATRIBUIBLES POR INCREMENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES

| Todas las edades | >75 años | 65-74 años | 45-64 años | 18-44 años | 10-17 años | 0-9 años |
|---|--|---|---|--|---|---|
| $PM_{2.5}$ (0) RR 1,07 (1,05 1,09) AR 6,7% | $PM_{2.5}$ (0) RR 1,09 (1,06 1,13) AR 8,8% | $PM_{2.5}$ (0) RR 1,06 (1,03 1,12) AR 5,8% | $PM_{2.5}$ (2) RR 1,05 (1,01 1,11) AR 5,3% | $PM_{2.5}$ (0) RR 1,05 (1,02 1,08) AR 4,9% | $PM_{2.5}$ (0) RR 1,15 (1,04 1,27) AR 13,2% | $PM_{2.5}$ (0) RR 1,07 (1,01 1,13) AR 6,6% |
| Tfrio (6) RR 1,00 (1,00 1,01) AR 0,3% | Tfrio (9) RR 1,01 (1,00 1,01) AR 0,8% | O ₃ a (8) RR 1,53 (1,26 1,81) AR 34,8% | Tfrio (1) RR 1,01 (1,00 1,02) AR 0,6% | Oleaceae (2) RR 1,01 (1,00 1,02) AR 1,4% | Legdia (2) RR 1,09 (1,01 1,17) AR 8,3% | Legdia (0) RR 1,05 (1,02 1,09) AR 5,0% |
| Graminae (2) RR 1,03 (1,00 1,05) AR 2,6% | | Tfrio (11) RR 1,01 (1,00 1,01) AR 1,1% | Cupresaceae (4) RR 1,01 (1,00 1,02) AR 1,2% | | Tfrio (11) RR 1,02 (1,00 1,03) AR 1,8% | O ₃ a (0) RR 1,45 (1,14 1,76) AR 31,0% |
| Oleaceae (6) RR 1,01 (1,00 1,02) AR 0,9% | | Platanaceae (8) RR 1,01 (1,00 1,02) AR 0,8% | Oleaceae (2) RR 1,02 (1,01 1,04) AR 2,5% | | Platanaceae (6) RR 1,02 (1,00 1,03) AR 1,7% | Oleaceae (6) RR 1,02 (1,00 1,04) AR 2,0% |
| Platanaceae (5) RR 1,00 (1,00 1,01) AR 0,3% | | Cupresaceae (0) RR 1,01 (1,00 1,02) AR 1,1% | Platanaceae (5) RR 1,00 (1,00 1,01) AR 1,0% | | | |

LEYENDA: Riesgos Relativos (RR) y Riesgos Atribuibles (AR) por cada 25 granos/ m^3 de incremento en la concentración de cada especie polínica sobre los ingresos hospitalarios según grupos de edad por todas las causas. Los incrementos en los contaminantes se refieren a incrementos de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para el caso del ozono el incremento es de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ sobre el umbral medio diario de $65\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para el caso de la temperatura se refiere a cada $^{\circ}\text{C}$ por debajo de 30°C para el caso de Tfrio. El primer paréntesis tras el contaminante se refiere al desfase (en nº de días) entre la causa y el efecto, el paréntesis tras el RR representa el intervalo de confianza al 95%.

La revista Ecologista es una publicación trimestral sobre medio ambiente. Se caracteriza por su información veraz y crítica desde el punto de vista de la ecología social, atendiendo tanto a los problemas ambientales como a las estructuras sociales y económicas que los generan. Entre los temas tratados destacan: la biodiversidad, el cambio climático, la seguridad alimentaria, los bosques, el consumismo, la utilización de los recursos naturales, la calidad del aire, de las aguas y de los suelos, los espacios naturales, las energías renovables... y, desde luego, las alternativas y cambios sociales necesarios para conseguir una sociedad sostenible.



¿Cumpleaños? ¿Reyes? ¿Fin de curso?...

¡Regala o regálate una suscripción!

Por sólo 30 euros recibirás 12 ejemplares de la revista (2,5 euros por revista, en lugar de 3 euros del precio de portada)

Y recuerda que los beneficios de la venta de esta revista se destinan íntegramente a Ecologistas en Acción

Puedes suscribirte o hacer el regalo por:

- Correo postal (envía la hoja siguiente)
- Teléfono 915 31 27 39
- Fax 915 31 26 11
- Internet www.ecologistasenaccion.org/revista