

ESTUDIO DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN EL INTERIOR DE UNA COPISTERIA

Por M. L. Sánchez (1)

J. L. Sánchez (2)

M. C. Ramos (1)

INTRODUCCION

Durante las últimas décadas se han realizado esfuerzos importantes para conocer la calidad del aire que respiramos tanto en medios rurales como urbanos^{1,2}. Este esfuerzo colectivo ha permitido no sólo acumular una gran evidencia experimental acerca de la presencia de diferentes elementos y compuestos en la atmósfera, sino también adoptar medidas de control de las emisiones, con objeto de tratar de mejorar el medio ambiente en el que vivimos.

Sin embargo, la mayor parte de los estudios realizados se han centrado preferentemente en la contaminación atmosférica que existe en espacios abiertos, o también denominada contaminación externa. Sólo en los últimos años diferentes investigadores pertenecientes a áreas de naturaleza muy variada, han comenzado a dedicar una atención creciente hacia la contaminación atmosférica existente en el interior de locales cerrados, como pueden ser aulas escolares, viviendas familiares o locales de trabajo^{7,8}. El estudio de la contaminación atmosférica interior es del máximo interés social, si se tiene en cuenta que un elevado porcentaje de las actividades humanas transcurren en el interior de edificios.

El objetivo de este trabajo ha sido analizar la composición del aire en el interior y exterior de un local comercial que realiza fotocopias y trabajos en «offset». Para ello hemos realizado una campaña invernal de dos semanas de duración, durante la cual hemos medido 10 elementos traza tanto en la atmósfera exterior como interior del local. Esta campaña de medidas se ha realizado tomando muestras de aire durante el período laboral ordinario, es decir, desde las 9 h. 30 min. hasta la 1 h. 30 min. y desde las 4 h. 30 min. hasta las 8 h.

El lugar en el que se encuentra situado el local objeto de nuestro estudio es relativa-

(1) Departamento de Física Aplicada. I. Universidad de Valladolid

(2) Dpto. de Física, Química y Exp. Gráfica. Universidad de León

mente céntrico, aunque está ubicado sobre una calle estrecha y recoleta en la que la densidad de tráfico es reducida. El volumen medio diario de hojas realizadas es aproximadamente 5.000, repartido en partes iguales entre fotocopias y hojas lanzadas mediante «offset». Esta proporción dista mucho de ser homogénea ya que evidentemente el trabajo correspondiente a cada partida se rige por la demanda de los pequeños consumidores que acuden al local, así como a trabajos de mayor escala encomendados por diferentes organismos. Refiriéndose de nuevo a volúmenes medios, cabe señalar que un amplio porcentaje de las fotocopias diarias se realizan por consumidores que acuden de manera continua al local. Este extremo es de interés ya que ello implica que el local está sometido a una ventilación importante, y por tanto, presumiblemente debe existir una moderada influencia del ambiente exterior sobre el interior.

En este trabajo presentamos un estudio comparativo entre los niveles de concentración registrados en el interior y exterior del local comercial, con objeto de conocer la calidad del aire que existe en el interior y de analizar las posibles causas, —endógenas y exógenas—, de los 9 aerosoles estudiados (SO_4 , Fe, Pb, Zn, Ca, Mg, Cd, Cr, Ni).

MATERIAL Y METODOS

Recogida de muestras

La recogida de muestras la hemos realizado aspirando aire a través de filtros Millipore de 0.8μ de tamaño de poro, mediante un equipo convencional constituido por los elementos siguientes:

- Una bomba aspirante de membrana KNF-1N.01, que suministra en carga un caudal de aspiración de 200 l/min. El flujo de aire diario aspirado ha sido aproximadamente de 40 m.³.
- Un contador de flujo KROMSCHROEDER, cuyo caudal máximo es de 10 m.³/h.
- Un tomamuestras de acero inoxidable capaz de albergar filtros de tamaño variable.

En nuestro caso los filtros que hemos utilizado eran de 55 mm.

Para llevar a cabo las experiencias dispusimos de dos equipos idénticos. Uno de ellos se situó a 2 m. de altura en el exterior y el otro aspiró aire en el interior a aproximadamente 0,5 m. de altura.

Los filtros Millipore mencionados se caracterizan por un bajo contenido de todos los elementos analizados, con excepción del Cr, y además presentan una buena eficiencia de captación para todos los aerosoles (superior al 80 %)⁵.

Determinación analítica

Las medidas experimentales de los elementos mayoritarios en la atmósfera, Fe, Ca, Mg, Pb y Zn las hemos realizado utilizando la técnica de absorción atómica de llama. El K se ha determinado por emisión. Los elementos minoritarios en la atmósfera, Cd, Cr y

Ni se han medido mediante absorción atómica sin llama. Por último los sulfatos se han valorado mediante una determinación turbidimétrica. Los equipos de que hemos dispuesto han sido:

- Un Espectrofotómetro de Absorción Atómica, modelo 2380 Perkin-Elmer.
- Una Cámara de Grafito, HGA-4000 Perkin-Elmer.
- Un espectrofotómetro V-UV Perkin-Elmer, modelo Lambda 1.

Los filtros se mineralizaron previamente mediante un tratamiento ácido secuencial, mediante el cual todos los elementos fueron previamente pasados a disolución, siguiendo un tratamiento cuya eficacia ha sido puesta en evidencia en un trabajo anterior⁵.

Descripción del local

El local comercial posee un total de 5 fotocopiadoras. 3 de ellas, están destinadas a autoservicio, y 2 más son manejadas por operarios. La superficie útil que tiene es de aproximadamente 50 m.².

RESULTADOS Y DISCUSION

Niveles de concentración registrados en el exterior

Con objeto de caracterizar los niveles de concentración existentes en el interior del lo-

TABLA I
Concentraciones atmosféricas registradas en diferentes lugares de muestreo expresadas en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Los elementos marcados con un asterisco tienen expresadas las concentraciones en $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$.

ELEMENTO	EXTERIOR	ESTACION 1	ESTACION 2
SO_4^-	6.600	9.131	8.612
Fe	0.221	0.432	0.600
Pb	0.110	0.779	0.133
Zn	0.061	0.128	0.117
K	0.257	0.220	0.340
Ca	1.609	1.754	2.201
Mg	0.446	0.290	0.600
Cd*	0.210	0.775	0.400
Cr*	1.761	3.98	4.770
Ni*	6.914	14.10	18.101

cal, hemos determinado primero los valores medios obtenidos para cada uno de los aerosoles, y los hemos comparado con los registrados en otros lugares de muestreo en la ciudad de Valladolid. Apoyándonos en estudios previos realizados por nosotros⁵, hemos calculado las medias geométricas de cada uno de ellos, ya que la ley de distribución estadística a la que mejor se ajustan las concentraciones es la logarítmico-normal. Los resultados obtenidos en el exterior del local se muestran en la primera columna de la Tabla I. En la segunda y tercera columna aparecen los valores medios registrados en un lugar céntrico de la ciudad caracterizado por tráfico intenso, y en un área semiurbana de tráfico reducido pero influenciada por las emisiones de calefacciones domésticas e industriales.

Observando las concentraciones de Pb, elemento característico asociado al tráfico rodado, se constata que éstas son bajas, lo que es acorde con el tráfico existente en la zona.

Los elementos vinculados a las emisiones de las calefacciones domésticas, tales como SO_4^- , Zn, Ni y parcialmente el Cd⁵, se caracterizan por niveles de concentración mode-

TABLA II
Concentraciones medias ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), desviaciones típicas y contenido porcentual de diferentes aerosoles registradas en el interior del local. Los elementos marcados con asterisco tienen expresadas las concentraciones en $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$.

ELEMENTO	C_g	σ_g	%
SO_4^-	10.251	0.862	10.220
Fe	0.381	0.850	0.541
Pb	0.160	0.944	0.251
Zn	0.086	1.480	0.133
K	0.727	1.000	1.506
Ca	4.072	0.798	6.000
Mg	0.750	1.073	1.143
Cd*	0.790	1.480	0.00061
Cr*	7.600	1.312	0.034
Ni*	15.611	0.871	0.0197
m	80.051	0.594	-----

rados, ya que son aproximadamente la mitad de los que se producen en la zona centro o industrial, lo que revela que también este tipo de contaminación es débil.

Sin embargo, los elementos más abundantes en la corteza terrestre, es decir, Fe, Ca, Mg y K, se distribuyen de una forma bastante homogénea en todos los lugares de muestreo. Este resultado está en conformidad con el origen natural que todos ellos presentan en nuestra ciudad, hecho que ha sido constado en estudios anteriores⁵.

Una vez conocida la atmósfera externa en que se encuentra ubicado el local comercial, estamos en condiciones de analizar la calidad del aire existente en su interior.

Niveles medios de concentración registrados en el interior.

En la Tabla II mostramos las concentraciones medias geométricas de cada uno de los aerosoles, así como las desviaciones típicas geométricas que hemos obtenido durante la campaña de medidas.

Cada uno de los días de medidas pesamos los filtros, con lo que determinamos la cantidad *m* de materia recogida. Ello nos permitió determinar el porcentaje con que cada elemento se encontraba en la atmósfera. En la última columna de la Tabla II mostramos los

TABLA III
Valores medios de las relaciones R entre las concentraciones, desviaciones típicas geométricas y contenido porcentual registradas en el interior y exterior del local

ELEMENTO	R_C	R_σ	$R_\%$
SO ₄ ⁼	1.55	1.06	0.60
Fe	1.72	0.95	0.93
Pb	1.45	1.75	0.70
Zn	1.41	0.97	0.61
K	2.83	1.76	1.71
Ca	2.53	1.00	1.02
Mg	1.68	1.43	1.05
Cd [*]	3.76	1.00	1.59
Cr [*]	3.80	1.78	0.85
Ni [*]	2.25	1.29	0.99
m	2.29	1.56	-----

valores medios que hemos obtenido. Asimismo en la última fila hemos incluido el valor medio de la cantidad de materia recogida así como su desviación típica.

Para facilitar el análisis comparativo de los resultados registrados en el interior y exterior del local, hemos determinado las relaciones R entre los niveles medios de concentración, las desviaciones típicas y los contenidos porcentuales. Todos estos valores aparecen en la Tabla III. De la observación de estos resultados, pueden hacerse las siguientes consideraciones generales.

La cantidad de partículas materiales recogidas en el interior del local es aproximadamente el doble de la que se recoge en el exterior, lo que pone de manifiesto la importante contribución que ejercen las fuentes endógenas.

Cabe señalar que el conjunto de elementos analizados representan un 25 % del conjunto de partículas materiales recogidas en el exterior, mientras que sólo representa un 20 % de las que recogen en el interior. Este resultado pone de manifiesto que la composición de las partículas materiales en la atmósfera interna se modifica, ya que los elementos traza objeto de nuestro estudio se «diluyen» porcentualmente en el interior del local. Este resultado es razonable, teniendo en cuenta la contribución que deben ejercer en la atmósfera los productos característicos utilizados en este tipo de trabajo («toner», dispersante... etc.).

TABLA IV
Coeficiente de correlación lineal entre el exceso de concentración interior, ($c_{EXT}-c_{INT}$), y las concentraciones registradas en el interior y exterior del local respectivamente

ELEMENTO	r_{EXOG}	r_{ENDOG}
SO ₄	0.84	0.99
Fe	0.49	0.89
Pb	0.32	0.98
Zn	0.55	0.98
K	0.56	0.99
Ca	0.59	0.98
Mg	0.66	0.95
Cd*	0.85	0.98
Cr*	0.85	0.95
Ni*	0.75	0.99

Analizando el comportamiento de cada uno de los elementos traza analizados, se constata que los niveles de concentración de todos ellos aumentan en el interior en torno a un factor medio de 2.2. Sin embargo, y a pesar de este aumento general, hay elementos que incrementan sus proporciones de manera más acentuada que otros. Esto sucede con Ca, K, Cr, Cd y en menor cuantía Ni, para los cuales esta relación se sitúa en promedio en torno a un factor 3, frente a los restantes que aumentan en promedio solamente 1.5 veces sus concentraciones.

Observando las relaciones existentes entre las desviaciones típicas de las concentraciones registradas en el interior, se constata que son claramente superiores en el interior del local (obsérvese que los valores de R son superiores a 1), lo que denota que éstas están sujetas a una variabilidad mayor que en la atmósfera exterior. Este hecho sugiere el carácter eminentemente endógeno de todos ellos.

Es interesante notar que a pesar de que los niveles de concentración aumentan en el interior, el contenido porcentual en la materia particular recogida, permanece constante o disminuye. Solamente aumentan en el caso del K y Cd que se presentan como los únicos elementos que aumentan sus concentraciones y su contenido porcentual en el interior.

El hecho de que los elementos mayoritarios en la corteza terrestre Fe, Ca y Mg aumenten sus concentraciones en el interior y sin embargo tengan un contenido porcentual igual que en el exterior, sugiere que el origen endógeno de todos ellos sea el «toner» residual, utilizado en las fotocopiadoras. En efecto, aunque no nos ha sido posible conocer la composición de este material, sus componentes básicos no difieren excesivamente de los presentes en el carbón. A su vez, la composición de los elementos mencionados en la corteza terrestre es similar a la del carbón³. Este hecho justifica, al menos cualitativamente el origen que hemos atribuido a este grupo de elementos.

El aumento que se produce en los niveles del K en el interior del local, unido a que su porcentaje también sufra un incremento notable, nos induce a sospechar acerca de la existencia de alguna fuente local endógena específica, además del «toner» residual. Esta podría ser la utilización de las soluciones base con las que se preparan las planchas de «offset», las cuales según la bibliografía consultada⁴, pueden contener sales de alumbres y cromo. Esta plausible interpretación es compatible con el aumento notable que experimentan los niveles de Cr en el interior. Una fuente adicional importante que también puede contribuir a aumentar los niveles de K en el interior es la debida a la actividad corporal humana. Posiblemente las dos causas justifiquen el exceso de este elemento en la atmósfera interior.

Los elementos traza $\text{SO}_4^{=}$, Pb, Zn, Ni y Cd presentan un comportamiento diferente a los que acabamos de citar. En efecto, sus niveles de concentración en el interior aumentan de una forma más moderada y además se «diluyen» porcentualmente en la materia recogida en el interior. Este resultado sugiere que la contribución cuantitativa de las fuentes endógenas es más débil. Su incremento podría ser debido a la utilización del material dispersante (que es un derivado del petróleo) y de la gasolina (empleada para la limpieza de máquinas). Teniendo en cuenta que estos productos son volátiles y que el número de fotocopiadoras que dispone el local comercial es grande, dichos productos podrían contribuir a aumentar las concentraciones de estos elementos, ya que los contienen en cantidades moderadas.

El importante aumento de Cd que existe en el interior del local no es fácil de interpretar. Estudios previos realizados por nosotros en Valladolid, han revelado que este ele-

mento tiene un doble origen en la atmósfera exterior: el tráfico rodado y la combustión del fuel y/o gasóleos. Además este elemento, en razón a la afinidad química, suele acompañar a determinados metales de Zn. Una de las principales aplicaciones del Cd es la de formar parte de los metales antifricción. Posiblemente el propio funcionamiento de las partes metálicas de las máquinas, unido a su presencia en derivados del petróleo, contribuyan a aumentar los niveles interiores de este elemento altamente tóxico.

Influencia endógena y exógena sobre las concentraciones registradas en el interior.

A pesar de que la estadística de medidas disponibles ha sido reducida, hemos intentado establecer algún tipo de correlación entre los niveles de concentración registrados en el interior del local y el volumen de trabajo diario realizado. El resultado ha sido una ausencia total de correlación. En otras palabras, los días en que el número de hojas realizadas era mayor no necesariamente se registraban mayores niveles de concentración. Esta aparente contradicción puede ser debida a que durante el período estudiado dispusimos solamente del volumen global de hojas fotocopiadas y tiradas mediante «offset», sin especificar el número de unas y otras. De esta forma, es posible que un día determinado se caracterice por un elevado número de hojas realizadas, de forma que la mayor parte hayan sido lanzadas mediante «offset» o por el contrario sea relativamente bajo pero todo él debido a fotocopias. Dado que los dos tipos de trabajos requieren productos muy diferentes, ello podría justificar la ausencia de correlación detectada.

En un intento de obtener información adicional acerca del origen endógeno y exógeno de cada uno de los elementos traza estudiados, hemos correlacionado el exceso de concentración interior y exterior, con los niveles de concentración registrados en el interior y exterior del local respectivamente. En la Tabla IV mostramos los coeficientes de correlación r obtenidos para cada uno de los dos casos enumerados.

De la Tabla IV se deduce la importante correlación que existe entre el exceso de concentración registrada en el interior con las concentraciones que diariamente se producen. Este hecho, general para todos los elementos, prueba nuevamente el carácter endógeno de todos los aerosoles estudiados. Este contraste, obsérvese los moderados coeficientes de correlación que existen entre el exceso de concentración que se producen en el interior con los niveles que se registran en el exterior. Sin embargo, los moderados coeficientes de correlación obtenidos, son indicativos de la existencia de una cierta influencia de las condiciones atmosféricas ambientales sobre la calidad del aire en el interior. Este resultado es razonable teniendo en cuenta que el local está moderadamente ventilado, como hicimos notar anteriormente, debido al flujo continuo de gente que entra y sale del él.

CONCLUSIONES

El análisis comparativo de los niveles de concentración de 10 aerosoles medidos en el interior y exterior de una copistería que realiza fotocopias y trabajos de «offset» ha revelado que existe un claro deterioro de la calidad del aire en el interior. Así, hemos consta-

tado que tanto la cantidad de partículas materiales atmosféricas como las concentraciones de todos los elementos traza, tienden a duplicar las concentraciones que se registran en el exterior. Además los niveles de concentración han resultado ser, exceptuando un día, siempre superiores en el interior del local comercial.

Dado que el entorno ambiental en el que se encuentra ubicado el local se caracteriza por niveles de concentración bajos, hemos comparado los valores medidos en el interior con los que se registran en la zona centro más contaminado de la ciudad de Valladolid. Este estudio ha revelado que las concentraciones de SO_4 , Pb y Zn son sensiblemente inferiores en el interior.

En concreto los niveles medios de Pb, elementos de carácter tóxico, se pueden considerar moderadamente bajos, por lo que podemos concluir que los operarios que realizan este tipo de trabajo no están sometidos a ningún riesgo especial.

Los niveles de Cd, otro tóxico, a pesar de que cuantitativamente no son elevados, sí han resultado ser moderadamente altos y comparables con los que se registran en las zonas de mayor tráfico y más contaminadas de Valladolid.

Los elementos Fe, Ca, Mg, K y Cr que se registran en el interior son en general superiores a los que existen en la atmósfera exterior. En particular, el K ha resultado ser el elemento más característico de este tipo de actividades laborales, ya que los valores medios son superiores que en cualquier lugar de la ciudad, y además aumenta su contenido porcentual en mayor cuantía que ningún otro elemento.

Basándonos en el análisis comparativo del contenido decenal de los diferentes elementos en la atmósfera, cabe atribuir el origen de Fe, Ca, Mg, Cr, K y la masa m, al «toner residual». Además el K y el Cr, podrían estar relacionados con la preparación de las planchas de «offset».

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud a los dueños de la copistería, Dña. M.^a Antonia Manzano y D. Oscar Hernández por las facilidades que en todo momento les han prestado para llevar a cabo la realización de este trabajo. Asimismo agradecen a Dña. Estrella Mateos su colaboración en la realización de todas las medidas llevadas a cabo.

RESUMEN

Se han efectuado medidas de 9 tipos de partículas, tanto en el interior como en el exterior de una copistería con máquinas de fotocopias y de «offset». La comparación entre los niveles medios de los diferentes contaminantes estudiados, ha puesto de manifiesto la degradación en la calidad del aire de la copistería, con concentraciones 1,5 veces superiores a la del exterior. Presentamos una discusión acerca del origen de tales partículas.

STUDY OF ATMOSPHERIC POLLUTANTS INTO A COPY-CENTER

SUMMARY

Indoors and outdoors measurements of 9 airborne particles (SO_4 , Fe, Pb, Zn, K, Ca, Mg, Cd, Cr and Ni) and particulate matter have been performed in a copy-center, which does photocopies and «offset». The comparison between the average pollution levels recorded during a winter fortnight sampling programme, has revealed about the important degradation of the air quality inside the local. In this way, the concentrations of particulate matter and the whole airborne particles increase the concentrations, at least in a factor 1,5, inside the copy-center. The origin and the main sources of each one of the airborne particles are also discussed.

BIBLIOGRAFIA

- 1) ADAMS F., VAN CRAEM M., VAN ESPEN P. (1975).- The element composition of atmospheric aerosol particles at Chacaltaya, Bolivia. *Atmos. Envir.* 14, 879-893.
- 2) ALPERT D., HOPKE P. K. (1981).- A determination of the sources of airborne particles in the Boston urban area. *Atmos. Envir.* 14, 1.137-1.146.
- 3) CATZ D. F. (1970).- Identification of aerosol sources in the St Louis area using factor analysis. *Journal Appl. Meteor.* 17, 600-618.
- 4) MASTER M. C. (1974).- *Gran Enciclopedia del Mundo*. Durban S.A., Bilbao.
- 5) RAMOS M. C., SANCHEZ M. L., SANCHEZ J. L. (1985).- Estudio de la distribución de elementos traza en la ciudad de Valladolid. *Revista Geofísica* 41, 287-294.
- 6) SANCHEZ M. L., RAMOS M. C., SANCHEZ J. L. (1985).- Aplicación del análisis de componentes principales a la medida de elementos traza en la atmósfera. *Anal. fis.* (En prensa).
- 7) TYMEN G. (1985).- Irradiation naturelle interne due au radon dans les locaux d'habitation du Finistere. *Pollut. Atmosph.* 108, 253-260.
- 8) VIALA A., GRIMALDI F., GOUZO F., MULS E. (1985).- La pollution atmospherique a l'interieur d'une salle de classe a Marseille. *Pollut. Atmosph.* 108, 261-265.