

## RELACIONES CUANTITATIVAS ENTRE LOS CONTAMINANTES INDICE Y LAS VARIABLES METEOROLOGICAS EN SALAMANCA

*M. R. Fidalgo, C. Rodríguez y J. Garmendia  
Departamento de Física de la Atmósfera. Facultad de Ciencias  
Universidad de Salamanca*

### Resumen

En este trabajo hemos cuantificado la relación existente entre las concentraciones diarias de inmisión de dióxido de azufre y materia en suspensión (caracterizada como humos negros) y 8 variables meteorológicas en Salamanca.

Se efectuó el análisis de regresión lineal y potencial para cuatro períodos de invierno (16 noviembre-1 marzo) comprendidos entre 1978-1982.

La función potencial fue la que presentó mayores coeficientes de correlación, especialmente para el módulo de la velocidad del viento.

### Abstract

In this paper we have obtained the quantitative relationships between the daily sulphur dioxide and suspended particulate matter (characterized as black smoke) concentrations and 8 meteorological parameters in Salamanca.

The linear and potential regression analysis was carried out over 4 winter periods (16 November-1 March) from 1978 to 1982.

The potential regression was the one which presented higher correlation coefficients, especially to the module of wind speed.

### Introducción

Los avances científicos y técnicos hacen que cada vez se conozcan mayor número de sustan-

cias atmosféricas capaces de provocar efectos nocivos sobre los seres vivos y su entorno. De ahí que la sociedad haya tomado conciencia del problema y se hagan, cada día, mayores esfuerzos para combatirla.

Por consiguiente, se hace necesario conocer los niveles de contaminación y su evolución temporal en una determinada zona, así como la influencia que ejercen sobre ellos las distintas variables meteorológicas.

En nuestro trabajo vamos a cuantificar la dependencia existente entre las concentraciones diarias de  $\text{SO}_2$  y humos y 8 variables meteorológicas.

### Parte Experimental

Las muestras fueron recogidas cada 24 horas en un equipo SF McLeod, a lo largo de 4 años (15 de mayo 1978-15 de mayo 1982). El caudal de aire aspirado a través del filtro de celulosa Whatman n.º 1 fue de unos  $4 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ . El punto de muestreo se situó en la Facultad de Ciencias entre la zona de mayor y menor densidad de población de la ciudad.

El dióxido de azufre y la materia en suspensión (caracterizada como humos negros) se determinaron siguiendo las normas BS 1747 (BSI, 1969) por el método del peróxido de hidrógeno y reflectometría respectivamente. A estos dos contaminantes se les denomina —contaminantes índice— porque su medida orienta sobre la evo-

lución y concentración de otros contaminantes emitidos juntos a ellos.

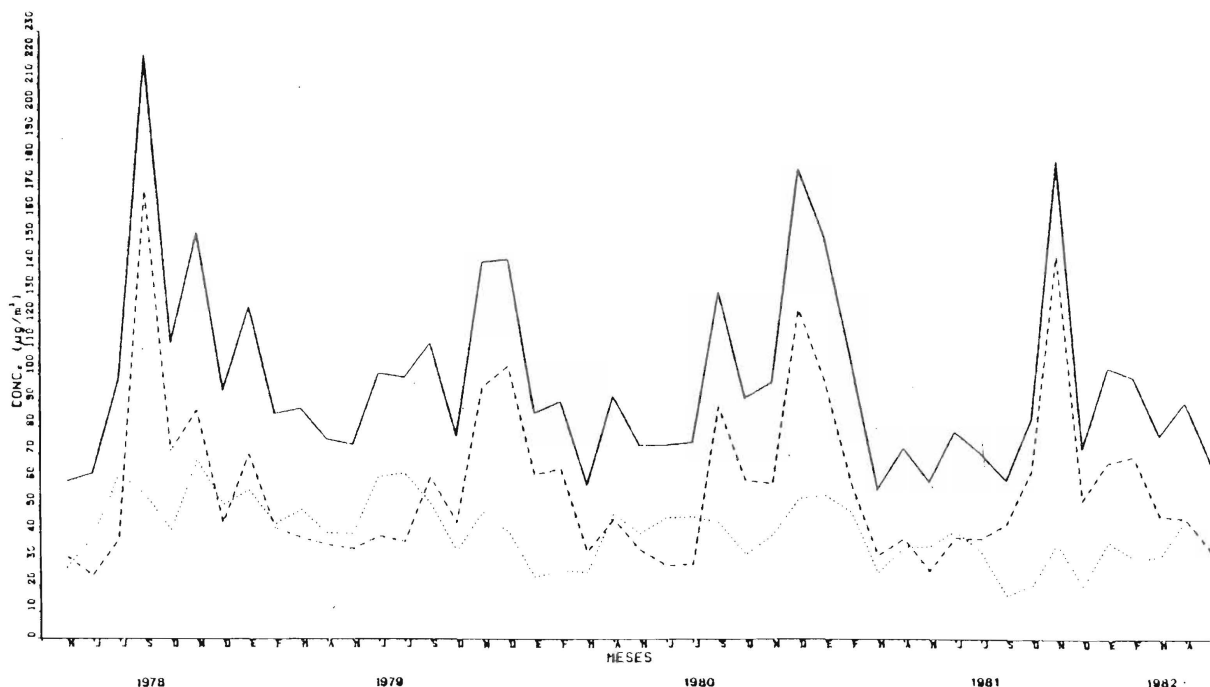
Los valores de las variables meteorológicas fueron tomados del Observatorio de la Base Aérea de Matacán, próxima a Salamanca.

Las 8 variables meteorológicas utilizadas fueron: U = módulo de la velocidad del viento

(km/día); T,  $T_{\min}$  = temperatura media y mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ); P = presión atmosférica (mmHg); R = precipitación (mm); H = humedad relativa (%); IN = insolación (%), y VIS = visibilidad (km).

*Concentraciones mensuales de los contaminantes índice*

Las concentraciones medias mensuales de  $\text{SO}_2$ , humos y la concentración total (suma de las dos anteriores), quedan reflejadas en la gráfica 1.



Gráfica 1.—Evoluciones mensuales de las concentraciones de  $\text{SO}_2$ , humos y total para todo el período estudiado.  $\text{SO}_2$  (.....); Humos (---); Total (—)

En el eje de ordenadas aparece la concentración en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y en abscisas los meses considerados. Se aprecia una periodicidad anual, con cierto carácter estacional, más acusada en el caso de los humos, ya apuntada por otros investigadores (Fukuoka, 1974; Fernández, 1983; Boutin, 1983).

Las concentraciones máximas se alcanzan generalmente en los meses fríos: diciembre para 1979 y 1980, con una concentración total de 144 y 179  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente; noviembre de

1981 (183  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y septiembre en 1978 (221  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Hay que señalar que durante este último mes hubo una gran incidencia de calmas (vientos con velocidades  $\leq 24$  km/día), altas presiones y precipitaciones nulas.

**Análisis de regresión**

Con ayuda de modelos estadísticos vamos a cuantificar las relaciones cualitativas ampliamente discutidas en un trabajo anterior (Fidalgo,

1986). Para este estudio nos centramos fundamentalmente en los inviernos por ser los más interesantes desde el punto de vista de la contaminación atmosférica en Salamanca. Este interés radica en el hecho de coincidir estos períodos con la máxima emisión de contaminantes, como vimos anteriormente; además de ser la estación del año con mayor número de datos, dadas las características climatológicas de la zona.

Consideramos los cuatro períodos de invierno (16 de noviembre-1 de marzo), tanto individualmente como en conjunto, con un total de 278 días.

Inicialmente utilizamos la regresión lineal simple por ser la más sencilla.

*Correlaciones entre las variables meteorológicas*

El análisis de correlación para las variables meteorológicas dio como resultado unos coeficientes muy semejantes para los 4 inviernos. En la tabla 1 se exponen los correspondientes a los 4 inviernos en conjunto.

	U	T	H	VIS	P	R	IN	T <sub>min</sub>
U	1							
T	0,39	1						
H	-0,02	-0,12	1					
VIS	0,19	0,11	-0,32	1				
P	-0,46	-0,10	-0,24	-0,05	1			
R	0,39	0,26	0,20	0,01	-0,48	1		
IN	-0,34	-0,18	-0,56	0,25	0,49	-0,36	1	
T <sub>min</sub>	0,56	0,87	0,18	0,10	-0,36	0,36	-0,46	1

Tabla 1.—Coeficientes de correlación entre las variables meteorológicas para los 4 períodos de invierno.

Merecen destacarse los relativos a la velocidad del viento y la temperatura mínima con un coeficiente de correlación de 0,56; temperatura media y mínima (0,87) y humedad relativa e insolación (-0,56).

*Análisis de regresión lineal y potencial entre contaminantes y variables meteorológicas*

Relacionamos estadísticamente los valores de las concentraciones diarias de inmisión de los

contaminantes estudiados con cada variable meteorológica.

En la tabla 2 se muestran las correlaciones lineales para el SO<sub>2</sub>, humos y la concentración total con las 8 variables meteorológicas, para los 4 inviernos conjuntamente.

Contaminante	V. meteorol. Invier.	U	T	H	VIS	P	R	IN	T <sub>min</sub>
SO <sub>2</sub>	4 I	-0,43	-0,34	0,08	-0,13	0,18	-0,12	0,25	-0,38
Humos	4 I	-0,63	-0,25	-0,13	-0,18	0,44	-0,27	0,40	-0,47
Total	4 I	-0,65	-0,31	-0,08	-0,19	0,41	-0,25	0,40	-0,50

Tabla 2.—Coeficientes de correlación SO<sub>2</sub>, humos y total obtenidos de la regresión lineal para los 4 períodos de invierno.

Se aprecia que los coeficientes de correlación más altos los presenta el módulo de la velocidad del viento, con valores de -0,43 para el SO<sub>2</sub>; -0,63 para humos y -0,65 para la concentración total. Ello confirma su papel primordial en la dispersión y transporte de contaminantes.

El análisis de correlación con la temperatura nos indica que:

— La regresión es inversa, es decir, el aumento de la temperatura favorece la difusión de contaminantes hacia las capas altas de la atmósfera. Ello se explicaría, en parte, por el aumento de los gradientes térmicos verticales, además de una disminución de focos contaminantes provenientes de los sistemas de calefacción.

— La asociación es mayor con la temperatura mínima que con la temperatura media, ya que las variaciones relativas son más significativas para la primera.

La humedad relativa no parece estar asociada con estos dos contaminantes. Tan sólo en los períodos 78-79 y 81-82 se obtuvieron correlaciones

más altas, pero aún así poco significativas. Con esta variable cabía esperar una relación inversa como indica la bibliografía consultada, por favorecer la dispersión, al aumentar los núcleos de condensación (Covert, 1972; Randall Koenig, 1975). No obstante, para el invierno 78-79 esta relación fue directa, lo que parece corroborar que, a veces, las altas humedades relativas están asociadas a inversiones de temperatura (Healy, 1974), y en Salamanca concretamente hay bastante incidencia de nieblas.

Los humos parecen estar más relacionados con la visibilidad que el SO<sub>2</sub>. Sin embargo, no hemos podido profundizar en el estudio de la influencia de esta variable, por estar efectuando sus medidas en distinto lugar del de muestreo de los contaminantes.

La correlación entre la precipitación y los tres contaminantes muestran su relativa dependencia, si bien, sus coeficientes no son altos, posiblemente a causa de la gran variación que muestran las concentraciones los días en que no se registra precipitación.

Es interesante apuntar la correlación directa y significativa entre los contaminantes índice y la insolación, excepto en el invierno 78-79. Ello mismo sucede con la presión. De hecho, las altas presiones provocan estancamiento de las masas de aire, impidiendo la dispersión de contaminantes.

Al seguir las concentraciones de los contaminantes considerados una distribución logarítmico-normal (Fidalgo, 1986), y orientándonos en trabajos realizados por otros autores (Elsom y Chandler, 1978) ensayamos la función potencial. Se expresa:  $c = ax^b$  donde  $c$  es la concentración del contaminante y  $x$  la variable meteorológica. Sería equivalente a escribir:  $\lg c = \lg a + b \lg x$  reduciéndose así a una función lineal.

La matriz de correlación para este ajuste se muestra en la tabla 3, considerando los 4 inviernos en conjunto.

Contaminante	V. meteorológica					
	U	T	H	VIS	P	IN
SO <sub>2</sub>	-0,49	-0,30	0,01	-0,13	0,22	0,27
Humos	-0,83	-0,28	-0,12	-0,25	0,46	0,35
Total	-0,79	-0,31	-0,08	-0,22	0,40	0,36

Tabla 3.—Matriz de correlación para SO<sub>2</sub>, humos y total obtenida de la ecuación  $c = ax^b$  para los 4 periodos de invierno.

Comparando con los coeficientes de correlación expuestos anteriormente en la tabla 2, observamos que los coeficientes de correlación aumentan, generalmente, con el ajuste potencial. Este incremento es más significativo en lo que respecta a la relación con el módulo de la velocidad del viento, alcanzando valores de -0,49; -0,83 y -0,79 para SO<sub>2</sub>, humos y concentración total respectivamente. De este ajuste se excluyeron las variables con valores negativos y nulos.

Adviértase la relación inversa que existe con todas las variables meteorológicas, excepto con la presión y la insolación, y en el caso del SO<sub>2</sub> también con la humedad.

Debemos indicar que las correlaciones se han efectuado con valores diarios. De ahí que algunas anomalías se obviarían si se promediasen los datos, lo que seguramente aumentaría la correlación.

De los resultados se desprende que la decisión de utilizar la función potencial para los contaminantes índice es aconsejable.

### Conclusiones

Estos resultados vienen a corroborar la influencia cualitativa de las distintas variables meteorológicas sobre las concentraciones de los contaminantes considerados mostrada en un estudio anterior (Fidalgo, 1986).

A la vista de los coeficientes de correlación mostrados podemos concluir que la variable meteorológica más influyente es la velocidad del

viento. Esta influencia es mayor sobre los humos que sobre el SO<sub>2</sub>.

El análisis de regresión efectuado pone de manifiesto que la relación de la contaminación con el viento es claramente de tipo potencial.

Con el resto de las variables la relación varía, según el período considerado; si bien queda reflejada una mayor influencia de todas ellas, en general, sobre las concentraciones de humos. Al igual que en el caso del viento pensamos que se debe a que las concentraciones de SO<sub>2</sub> alcanzadas son bajas y cercanas a los valores de fondo.

### Bibliografía

- BOUTIN, Y.; LEDUC, R. (1983): Les poussières en suspension à Québec. *Pollut. Atmosphère*. 25 (100), 292-298.
- B. S. I., (1969): Methods for the measurement of air pollution. Pt. 2 and 3. *British Standard* 1.747.
- COVERT, D. S.; CHARLSON, R. J. and AHLQUIST, N. C. (1972): A study of the relationship of the Chemical Composition and Humidity to Light Scattering by Aerosols. *J. Appl. Meteorol.* 11, 968-976.
- ELSOM, D. M. and CHANDLER, T. J. (1978): Meteorological controls upon ground level concentrations of smoke and sulphur dioxide in two urban areas of the United Kingdom. *Atmos. Environ.* 12, 1.543-1.554.
- FERNÁNDEZ, P. L. y col. (1983): Análisis de los niveles de SO<sub>2</sub> y materia en suspensión en el aire de las ciudades de Santander y Torrelavega. *Rev. de Geofís.* 39, 169-180.
- FIDALGO, M. R.; MATEOS, J. y GARMENDIA, J. (1986): Evolución mensual de la contaminación y las variables meteorológicas en Salamanca. *Coloq. Ibéricos de Meteorol. y Climatol. XVII Jornadas Científicas AME Lisboa-Salamanca* (en prensa).
- FIDALGO, M. R. (1986): Relación de ciertos contaminantes de la atmósfera con la Meteorología en Salamanca. *Resum. Tesis Doct. Facultad Ciencias. Univ. Salamanca*, T-C-403.
- FUKUOKA, Y. (1974): Meteorological Study of Air Pollution (2). Effects of Wind Directions and Land Relieves on the Distribution Pollution. *Sci. Reports of the Faculty of Educ. Fukushima University*, No. 24, 31-41.
- HEALY, T. V. (1974): Ammonia and related atmospheric pollutants at Harwell. *Atmos. Environ.* 8, 81-83.
- RANDALL KOENIG, L. (1975): A Numerical Experiment on the Effects of Regional Atmospheric Pollution on Global Climate. *J. Appl. Meteorol.* 14, 1.023-1.036.