

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS MULTIFRACTAL EN SERIES TEMPORALES DE OZONO TROPOSFÉRICO EN LOCALIDADES DE ANDALUCÍA

N. Montilla-López¹, F. Jiménez-Hornero, E. Gutiérrez de Ravé, P. Pavón-Domínguez, A. B. Ariza-Villaverde ⁽¹⁾ g02molon@uco.es

Fig. 1 Mapa Físico de Andalucía



Fuente: <http://www.eventplannerspain.com>

Dicha concentración presenta patrones cíclicos, tanto diarios (Dueñas et al., 2002) como estacionales (Tsai et al., 2008) y debido a las reacciones complejas que tienen lugar en su formación, limitan el uso de la estadística descriptiva en su análisis. La incidencia en Andalucía es acusada y el análisis multifractal ha sido aplicado a la caracterización del ozono en Córdoba y Granada, ya que este método proporciona información adicional a la obtenida de otras alternativas usadas como la estadística descriptiva.

INTRODUCCIÓN

El ozono es un gas constituyente natural del aire que se encuentra principalmente en la estratosfera (90%). El resto del ozono que existe en la atmósfera se forma y se encuentra a nivel troposférico, pudiéndose convertir en tóxico para los seres humanos a concentraciones elevadas. Los principales precursores del ozono son los óxidos de nitrógeno (NOx) y los compuestos orgánicos volátiles (VOCs), que se emiten de forma natural y se ven incrementados con la actividad humana. Estos compuestos químicos en condiciones meteorológicas de altas temperaturas y radiación solar intensa, producen un aumento en las concentraciones de ozono.

Actualmente existe una directiva del Parlamento y del Consejo Europeo, donde se establecen los valores umbrales y de alerta, y los objetivos a largo plazo para la reducción de las concentraciones de ozono tanto en las áreas urbanas como rurales.

METODOLOGÍA

1. Series temporales de ozono

Los datos utilizados para el análisis son series temporales de ozono tomadas cada 10 min durante los meses de enero, abril, julio y octubre del año 2007, en la estación de medición de Lepanto, localizada en Córdoba y en la estación Granada Norte situada en la ciudad de Granada. Estas estaciones de medición son usadas por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, para controlar y observar la calidad del aire en el territorio andaluz.

2. Análisis Multifractal

El formalismo conocido como "strange attractor" (Hentschel and Procaccia, 1983) fue usado para realizar el análisis multifractal de series temporales de ozono.

Para su aplicación, la serie se divide en intervalos no solapados de resolución temporal, δ . Por lo tanto, δ y la concentración de ozono c_i caracterizan el intervalo i . El tiempo mínimo de resolución, δ_{ini} fue seleccionado de manera que cada intervalo inicial contuviera al menos una muestra de la concentración del ozono, c_{ini} .

$$c_i(\delta) = \frac{c_i}{\sum_{j=1}^{n_{ini}} (c_{ini})_j}$$

La distribución de la función de probabilidad de masa se analizó empleando el método de los momentos (Evertsz and Mandelbrot, 1992), en el que la función de partición $\chi(q, \delta)$ de orden q se calcula a partir de los valores $c_i(\delta)$, siendo n el número de intervalos de resolución temporal δ y q un número real.

$$\chi(q, \delta) \approx \delta^{\tau(q)} \rightarrow \text{Propiedad de la función de partición en casos multifractales, donde } \tau(q) \text{ es una función no lineal de } q \text{ (Feder, 1988)}$$

$$\chi(q, \delta) = \sum_{i=1}^n [c_i(\delta)]^q$$

α es conocido también como la dimensión fractal local y puede ser determinado de la transformación de Legendre de la curva $\tau(q)$ (Evertsz and Mandelbrot, 1992), $f(\alpha)$ se considera como la dimensión fractal del conjunto de intervalos que correspondientes a una singularidad α . $f(\alpha)$ se calcula

$$\alpha(q) = \frac{d\tau(q)}{dq} \quad f(\alpha) = q\alpha(q) - \tau(q)$$

RESULTADOS

El objetivo es obtener el espectro multifractal para comprobar la naturaleza multifractal de las series temporales de ozono. Es necesario definir el momento estadístico $q(-10, 10)$. Para cada valor de q obtenemos una nube de puntos que se ajusta a una regresión lineal, obteniendo la representación logarítmica de la función de partición $\chi(q, \delta)$ frente a la resolución temporal, $\delta = \delta_{ini} = 2$ datos (20 min) a $\delta = 2^{12} = 4.096 \times 10^3$ min y se comprueba que el valor de la pendiente para cada momento es el valor de $\tau(q)$ curva que es convexa y distinta de la línea recta si es multifractal.

CÓRDOBA

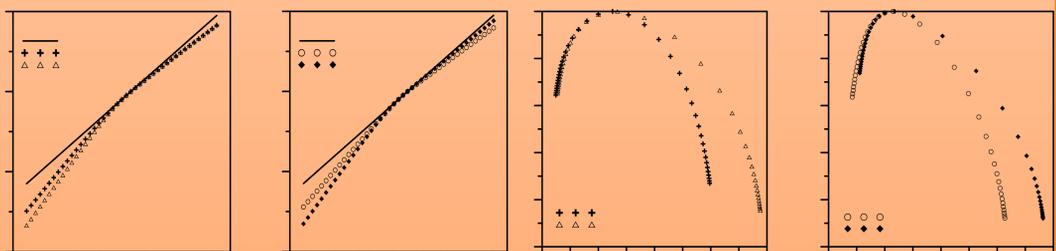


Fig. 2 (a) y (b), Funciones de exponentes de masa $\tau(q)$ en la ciudad de Córdoba.

Fig. 3 (a) y (b), espectros multifractales en la ciudad de Córdoba.

Las curvas $\tau(q)$ correspondientes a los meses de enero y octubre se superponen para valores $q > 0$. Sin embargo, para valores $q < 0$ encontramos una situación diferente, que se explica con la ayuda de los espectros multifractales $f(\alpha)$ mostrados en la fig. 3 (a) y 3 (b) que son parábolas invertidas, hecho que prueba la naturaleza multifractal de las series temporales de ozono.

GRANADA

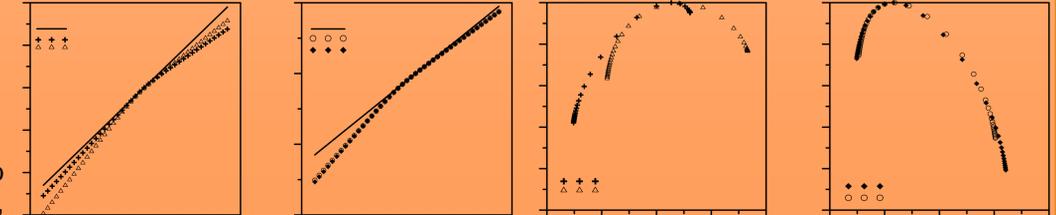


Fig. 4(a) y (b), Funciones de exponentes de masa $\tau(q)$ en la ciudad de Córdoba.

Fig. 5 (a) y (b), espectros multifractales en la ciudad de Granada.

Las curvas $\tau(q)$ de la Fig. 4(b) se superponen tanto para valores $q > 0$ como $q < 0$. Las curvas $\tau(q)$ son convexas y distintas del caso monofractal. Esta diferencia es mayor conforme aumenta el grado de multifractalidad de las series temporales de ozono.

CONCLUSIONES

✕ El análisis multifractal se ha mostrado como una herramienta adecuada y eficiente para caracterizar las concentraciones de ozono como consecuencia de su gran versatilidad con resultados satisfactorios para las ciudades objetivo de estudio: Córdoba y Granada.

✕ El método seguido permite completar la información aportada por la estadística descriptiva, ya que detecta la presencia de valores extremos y explica el origen de la heterogeneidad y variabilidad de la distribución de las concentraciones de ozono.

✕ Los espectros multifractales obtenidos en la ciudad de Córdoba son asimétricos, presentando ramas derechas más largas, lo que se relaciona con una mayor heterogeneidad en los valores pequeños de las concentraciones de ozono.

✕ En la ciudad de Granada se destaca el espectro para el mes de enero, con una concentración en el extremo de la rama derecha de valores pequeños, lo que deja de manifiesto la homogeneidad en dichos valores de las concentraciones de ozono durante dicho mes.

REFERENCIAS

- Dueñas, C., Fernandez, M. C., Cañete, S., Carretero, J., & Liger, E. (2002). Assessment of ozone variations and meteorological effects in an urban area in the Mediterranean Coast. *Science of the Total Environment*, 299, 97–113.
- Evertsz, C. J. G., & Mandelbrot, B. B. (1992). *Multifractal measures (Appendix B)*, In H. O. Peitgen et al. (Eds.), *Chaos and Fractals* (pp. 922–953). New York: Springer-Verlag.
- Feder, J. (1988). *Fractals*. New York: Plenum Press.
- Hentschel, H. G. E., & Procaccia, I. (1983). The infinite number of generalized dimensions of fractals and strange attractors. *Physica D*, 8, 435–444.
- Kravchenko, A. N., Boast, C. W., & Bullock, D. G. (1999). Multifractal analysis of soil spatial variability. *Agronomy Journal*, 91, 1033–1041.
- Tsai, D. H., Wang, M. L., Wang, C. H., & Chan, C. C. (2008). A study of ground-level ozone pollution, ozone precursors and subtropical meteorological conditions in central Taiwan. *Journal of Environmental Monitoring*, 10, 109–118.