

COMPARACIÓN DE LA VARIABILIDAD TEMPORAL DE LOS NIVELES DE OZONO EN UN ENTORNO COSTERO Y EN UN ENTORNO INTERIOR

Nuria CASTELL BALAGUER*; Enrique MANTILLA IGLESIAS*;
Felipe FERNÁNDEZ GARCÍA** y Ernesto LÓPEZ BAEZA***

* *Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM)*

** *Departamento de Geografía Física, Universidad Autónoma de Madrid*

*** *Dpto. de Termodinámica, Unidad de Investigación de Teledetección, Universitat de València*

RESUMEN

Se presenta un estudio de la variabilidad estacional y anual de los niveles de concentración de ozono troposférico en cinco estaciones de medida de la Red de Calidad Ambiental de la Comunidad Valenciana, situadas a lo largo de una cuenca transversal a la costa. En la variación estacional se observa la aparición de un máximo primaveral en las estaciones costeras, mientras que en las estaciones de interior el máximo se da preferentemente en verano. En la variación anual se observan diferencias de hasta $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en diferentes años y para una misma estación; la tendencia general a lo largo de los años de estudio es similar para los diferentes tipos de emplazamiento.

Palabras clave: Ozono troposférico, variabilidad estacional, variabilidad anual, estaciones costeras, estaciones de interior, máximo primaveral.

ABSTRACT

A study of the seasonal and annual variability of the levels of tropospheric ozone concentration appears, in five stations of measurement of the Network of Environmental Quality of the Valencian Community, located throughout a cross-sectional river basin to the coast. In the seasonal variation, the appearance of a maximum primaveral in the coastal stations is observed, whereas in the interior stations the maximum occurs in summer. In the annual variation, differences of up to $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ are observed in different years and for a same station; the general tendency throughout the years of study is similar for the different types from location.

Key words: *Tropospheric ozone, seasonal variability, annual variability, coastal stations, interior stations, primaveral maximum.*

1. INTRODUCCIÓN

En la cuenca mediterránea occidental la dinámica del ozono está fuertemente ligada a las circulaciones mesoescalares que se desarrollan bajo el efecto de una elevada insolación (especialmente estival) y condicionadas por las características morfológicas de la cuenca.

A partir del año 1988, la Comisión Europea financió varios proyectos, tres de los cuales fueron dirigidos por grupos de investigación españoles, para tratar los problemas específicos de la Cuenca Mediterránea. Entre estos proyectos destacan el MECAPIP (1988-1991) (MILLÁN *et al.*, 1992); el RECAPMA (1990-1992) (MILLÁN *et al.*, 1997), y los proyectos BEMA I y II (1993-1998) (SEUFERT, 1997).

Como resultado de estos proyectos y del reanálisis de los datos experimentales, se han documentado procesos meteorológicos, específicos de esta región. Por ejemplo, durante el día los contaminantes penetran desde la costa hacia el interior, a veces a una distancia superior a los 100 km. Las montañas que bordean la cuenca occidental del Mediterráneo actúan como chimeneas orográficas, que inyectan las masas de aire superficiales en los flujos de retorno en altura (el sistema de estratos puede llegar hasta los 3 ó 4 km). A este nivel, retornan hacia el este, pudiendo recorrer de 200 a 400 km durante la tarde y llegar casi al centro de la cuenca Balear, donde se sitúan a unos 2 ó 3 km de altura (MILLÁN *et al.*, 1992; MILLÁN *et al.*, 1996; MILLÁN *et al.*, 1997). Al día siguiente, estas masas de aire descienden y se sitúan de 1 a 1,5 km de altura, reiniciándose los procesos costeros descritos. Así se completa un ciclo de recirculación que puede tardar de dos a tres días en dar una vuelta completa (MILLÁN, 1998). Los estratos formados pueden contribuir al transporte interregional y a larga distancia de los contaminantes atmosféricos. Simulaciones numéricas muestran que el tiempo de residencia de las masas de aire contaminado sobre el Mediterráneo es superior a los cinco días (GANGOITI *et al.*, 2001).

Estos proyectos han documentado la continuidad de los procesos meteorológicos desde la escala local a la continental (MILLÁN *et al.*, 1998). La información disponible incluye la estructura de las circulaciones, su evolución diurna y, en menor grado, su variación estacional y anual (CASTELL, 2003; CASTELL y MANTILLA, 2002).

2. ZONA DE ESTUDIO Y DATOS UTILIZADOS

La orografía de la Comunidad Valenciana presenta una gran complejidad. El territorio valenciano está formado por una serie de montañas, que se sitúan tanto al norte como al sur, atravesadas por barrancos y fallas, rodeadas además por llanuras sedimentarias y mesetas elevadas. Las montañas pertenecen a dos sistemas, el Ibérico alineado en sentido NW-SE, y el Bético que lo hace de SW a NE.

De Norte a Sur de la Comunidad, las cuencas o canales más importantes son: Cuenca Cérvol-Els Ports; Cuenca Millars-Penyagolosa; Cuenca Palancia-Javalambre; Cuenca Túria; Cuenca Xúquer-Cabriel; Cuenca Bética-Serpis; y Cuenca Segura-Vinalopó (COSTA, 1999). Estos canales, proporcionan caminos preferentes de penetración de los flujos costeros y de los sistemas de brisa mar-montaña, y las zonas montañosas sobre las que se “apoyan” estas circulaciones en su penetración frontal.

Respecto a la ubicación de las principales fuentes de contaminación, se observa como los núcleos de población más extensos y las zonas industriales se encuentran principalmente en la zona costera de la Comunidad.

Para el estudio de la variabilidad temporal y espacial de los niveles de concentración de ozono superficial se utilizaron los datos de la Red Automática de Vigilancia de la Calidad del Aire (en adelante, RAVCA), propiedad de la Generalitat Valenciana. La zona mejor cubierta con medidas en continuo de ozono es la de Castelló, que tiene estaciones situadas en varios puntos de la cuenca de transporte, cubriendo desde el litoral hasta las zonas situadas más al interior, de forma que los puntos de monitorización se integran dentro del esquema de circulación general de la dinámica de

contaminantes en la vertiente mediterránea. En la figura 1 se representan las curvas de nivel orográficas y la ubicación de las estaciones que se utilizan en este trabajo.

Se trabajó con los datos horarios (obtenidos a partir de datos quinceminutales, que han superado un control de calidad), correspondientes a los años de 1997 a 2001, para las estaciones de Morella (emplazamiento de altura en interior), Vilafranca (emplazamiento de valle en interior), Penyeta (emplazamiento de altura en costa), Onda (medio emplazamiento entre costa e interior) y Ermita (emplazamiento costero).

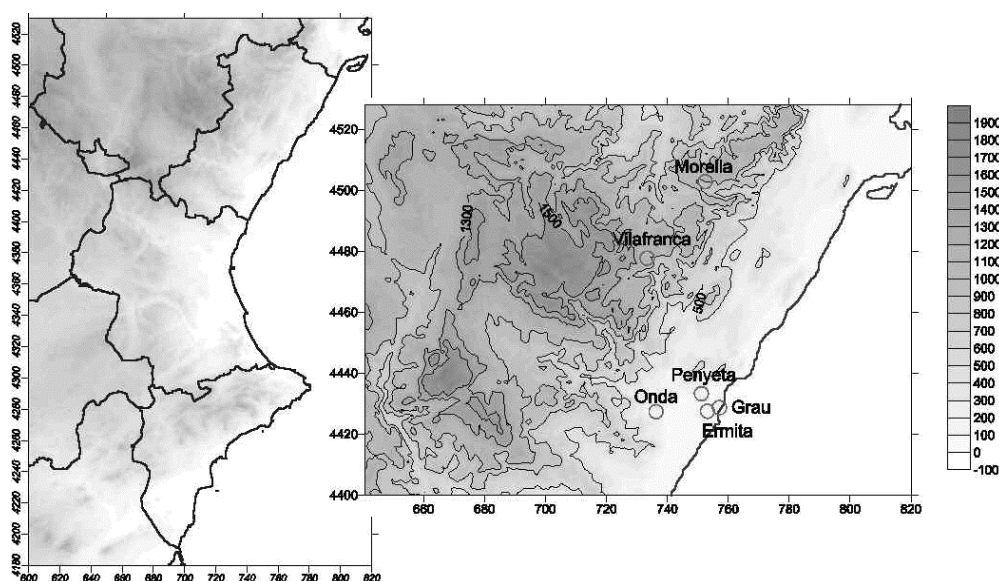


Fig. 1. Orografía de la Comunidad Valenciana y ubicación de las estaciones de medida de la RAVCA empleadas en este trabajo

3. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Las concentraciones de ozono en un emplazamiento determinado representan, en cada momento, el balance entre las fuentes (formación fotoquímica) y los sumideros (eliminación química y depósito). Este balance se realiza dentro de un medio en constante variación (movimiento atmosférico, emisión de nuevas especies químicas, etc.).

El problema del estudio espacial y temporal de la variabilidad, es un problema complejo que puede ser abordado desde diferentes puntos de vista. En este trabajo se realiza una descripción fenomenológica del comportamiento estacional y anual de los niveles de concentración de ozono, que sirve como primer paso hacia estudios más cuantitativos.

3.1. Variabilidad estacional de los niveles de concentración de ozono

Para el estudio de la variabilidad estacional se han calculado los promedios mensuales de los años de estudio para cada una de las estaciones. En las figuras 2 y 3 se muestran dos años de estudio. La variación estacional es diferente dependiendo del emplazamiento considerado, pero estas

diferencias no se refieren sólo a las concentraciones de ozono registradas, si no también a la localización temporal del máximo (CASTELL, 2003).

En las gráficas, se observa cómo aparecen, aunque cada año tiene sus propias peculiaridades y excepciones, dos máximos, uno en primavera y otro en verano. En las estaciones costeras, el máximo que se registra en primavera es incluso mayor que el estival. Así, en Ermita (costera), la diferencia del máximo primaveral frente al veraniego llega a ser de unos 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; sin embargo, en estaciones situadas a medio emplazamiento, la diferencia es nula o de pocos microgramos por metro cúbico.

En cuanto a las peculiaridades propias de cada uno de los años, destaca el año 1998, en el que se observa cómo el máximo principal se da en el mes de mayo, tanto en las estaciones situadas en el litoral como en las de interior en altura.

La variación estacional de las concentraciones de ozono en un punto determinado depende de multitud de factores, tales como la proximidad a las fuentes de precursores de ozono, localización geográfica y orografía del terreno, y factores meteorológicos (LOGAN, 1985). En estudios realizados en emplazamientos ubicados en distintos países se observa un máximo veraniego que se asocia, generalmente, a la producción fotoquímica (LEFOHN *et al.*, 1992; DERWENT *et al.*, 1994; LOGAN, 1985). Pero en el hemisferio Norte la aparición de un máximo primaveral en el ciclo estacional del ozono ha dado lugar a intensos debates científicos. Podemos encontrar estudios en los que se sugiere que la variación anual en el intercambio estratosfera-troposfera es el factor más relevante en el máximo primaveral (OLTMANS, 1981; LEVY *et al.*, 1985; LOGAN, 1985), y trabajos que llegan a la conclusión de que las evidencias muestran, en su mayoría, que no existe una variación estacional fuerte en la frecuencia en los intercambios entre la estratosfera y la troposfera, y que el origen del máximo primaveral deber ser explicado con los procesos en la troposfera (PRICE *et al.*, 1992; BEEKMANN *et al.*, 1997; HOLTON, 1995; MONKS, 2000).

En el caso particular del máximo primaveral observado en las estaciones de la RAVCA, y siguiendo las hipótesis sobre la dinámica de contaminantes en la cuenca mediterránea occidental planteadas por Millán (MILLÁN, 1998), éste podría explicarse de la siguiente forma: en primavera, con el aumento de la insolación, el gradiente térmico produce circulaciones de brisa en superficie durante el día, aunque su energía resulta insuficiente para desarrollar circulaciones de retorno en altura bien definidas. Las capas superficiales, en cuyo seno son vertidas las emisiones contaminantes de toda la actividad antropogénica en la franja costera, lo que hacen es oscilar en la cuenca aérea, según la alternancia del sentido de la brisa noche/día. De esta forma, las capas superficiales se van envejeciendo sin desplazarse grandemente de su posición, juntándose las emisiones frescas con los productos ya transformados y en general, enriqueciéndose en compuestos fotooxidantes. Por tanto, atendiendo a esta hipótesis las estaciones suficientemente próximas a las fuentes de emisión, registrarán niveles más elevados en primavera que en verano, ya que en verano el mayor alcance de la brisa diluiría la masa contaminada. Dada la distribución de fuentes, principalmente costera, en la Comunidad Valenciana, será en las estaciones costeras en las que se registre un máximo principal primaveral. Los años en que el máximo primaveral se registra también en las estaciones situadas más en el interior (1998) podrían tratarse de años con primaveras especialmente secas y con gran insolación. De hecho, el año 1998 se trata de un año con un alto predominio de las altas presiones en la Península Ibérica y Baleares, quedando las precipitaciones restringidas a los meses de abril, mayo y septiembre; caracterizándose el año como

muy seco para toda la Península. Térmicamente fue un año muy cálido, llegando a ser excepcional en la vertiente mediterránea peninsular y Menorca (INM, 1999).

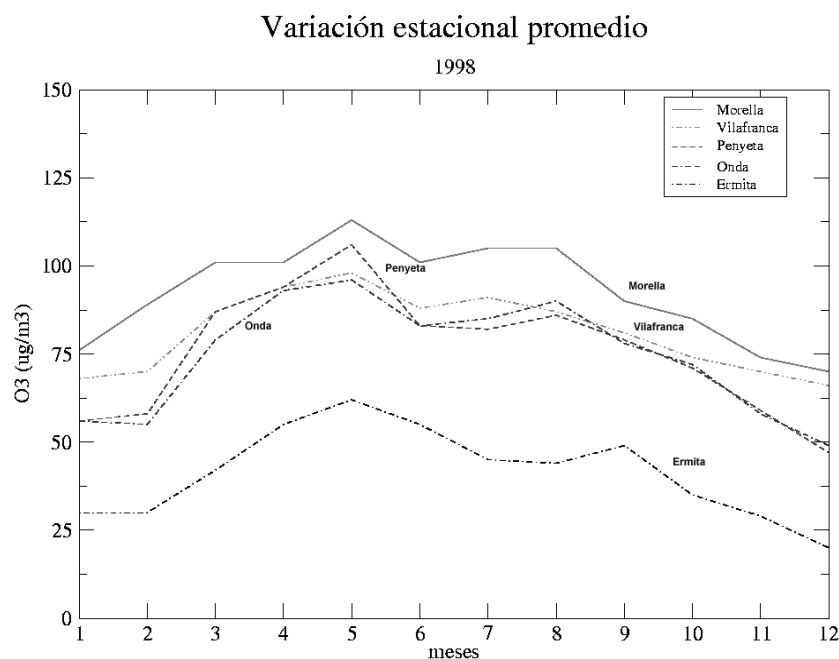


Fig. 2. Variación estacional promedio para el año 1998

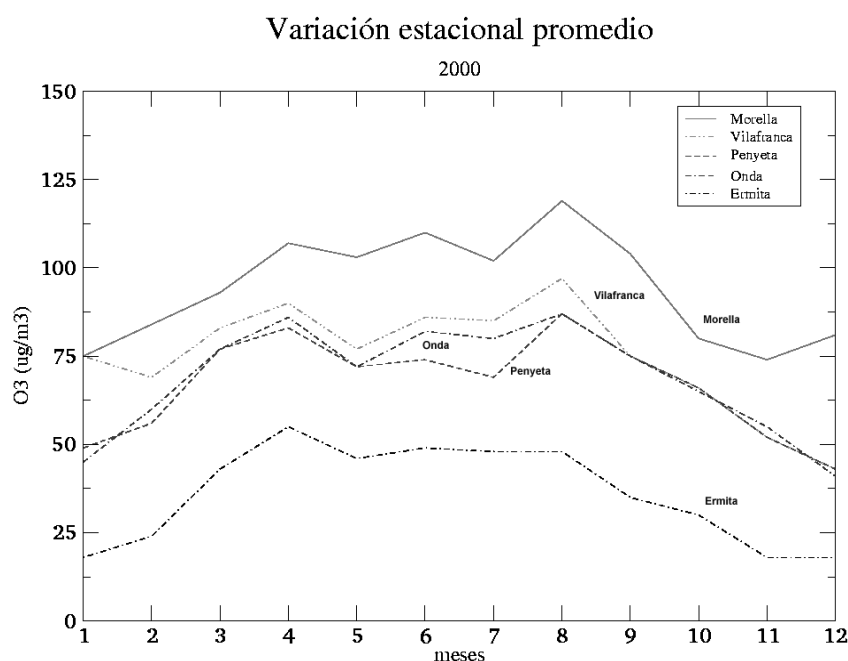


Fig. 3. Variación estacional promedio para el año 2000

3.2. Variabilidad interanual de los niveles de concentración de ozono

Para el estudio de la variabilidad interanual se ha trabajado con los cuantiles (percentiles 25, 50 y 75) y con los percentiles 5 y 98 como representativos de los valores mínimos y máximos, pero sin

la influencia de valores “outliers” más puntuales. En las gráficas se ha representado también la desviación típica a lo largo de los diferentes años.

Tal y como se observa en la figuras 4 (correspondiente a la estación de Penyeta), las diferencias entre un año y otro pueden llegar a ser de hasta unos $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, diferencia bastante significativa, que puede tener su origen en diferencias meteorológicas entre los diferentes años (veranos más/menos calurosos, más/menos lluviosos, etc.). Sin embargo, resulta difícil hablar de una posible tendencia en los niveles de ozono, para ello sería necesario hacer un análisis más exhaustivo de las series temporales (separación de la contribución meteorológica y empleo de técnicas de análisis de tendencia) (CASTELL, 2003).

En la variación interanual en las diferentes estaciones pueden observarse “patrones” de comportamiento interesantes, uno de los más destacados es el máximo en el año 1998. Este máximo coincide con un año climatológicamente anómalo, debido al importante evento de ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) de 1997-1998. Cabe decir que este dato no muestra, por sí solo, una relación entre el máximo anual de ozono y ENSO. No obstante, algunos autores sugieren un incremento en la correlación entre este fenómeno y Europa durante el siglo XX, debido a la intensificación en los fenómenos ENSO (MORON y WARD, 1998).

Recordar como en la figura 2, relativa a la evolución mensual/estacional de las concentraciones de ozono en el año 1998 se observaba un máximo primaveral tanto en las estaciones de altura como litorales. En la literatura se muestra el año 1998 como un año *extremadamente cálido* para la Comunidad Valenciana y, en general, como un año bastante seco (INM, 1999), esta situación meteorológica podría ser una explicación al aumento en los niveles de concentración de ozono.

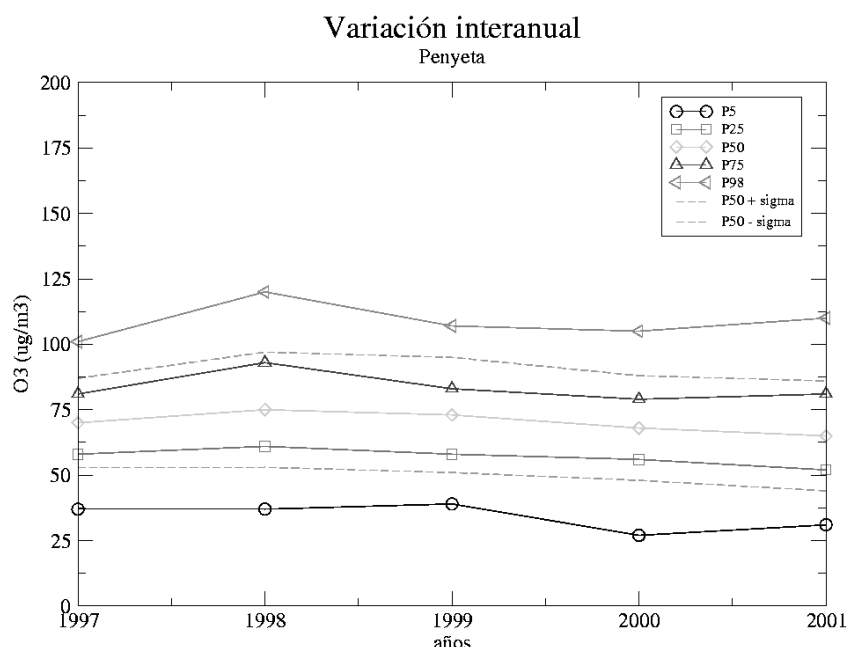


Fig. 4. Variación interanual de los percentiles de los niveles de concentración de ozono en la estación de Penyeta

4. CONCLUSIONES

En la variación estacional de los niveles de concentración de ozono, se observa como en las estaciones costeras los niveles de ozono muestran un incremento en el periodo primaveral, siendo las concentraciones elevadas más probables en estos meses que en los veraniegos. Esto puede explicarse por el menor desarrollo espacial de la célula de brisa, que mantiene los niveles confinados relativamente próximos a las áreas de producción. En las estaciones de interior en altura, el máximo se produce durante los meses de verano, ya que durante estos meses, debido a la mayor insolación, el transporte de la masa aérea alcanza distancias mayores.

En la variación interanual, se presentan diferencias de hasta $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para diferentes años, en una misma estación. Esta situación puede ser debida a la diferente meteorología de cada año.

5. AGRADECIMIENTOS

La Fundación CEAM esta financiada por la Generalitat Valenciana y BANCAIXA.

6. REFERENCIAS

- BEEKMANN, M. *et al.* (1997). "Regional and global tropopause fold occurrence and related ozone flux across the tropopause". *Journal of Atmospheric Chemistry*, 28, pp. 29-44.
- CASTELL, N. y MANTILLA, E. (2002). Algunos aspectos de la dinámica del ozono troposférico en la vertiente mediterránea. En: GUIJARRO PASTOR, J.A. *et al.* (Eds.). *El agua y el clima*. AEC, 3A, pp. 397-406.
- CASTELL, N. (2003). *Fenomenología de los Episodios de Contaminación por Ozono en la Vertiente Mediterránea*. Trabajo de Investigación Diploma de Estudios Avanzados. Universitat de València.
- COSTA, M. (1999). *La vegetación y el paisaje en las Tierras Valencianas*. Rueda.
- DERWENT, R. and DAVIES, T. (1994). "Modelling the impact of Nox on hydrocarbon control on photochemical ozone in Europe". *Atmospheric Environment*, 28, pp. 2039-2052.
- GANGOITI, G. *et al.* (2001). "Long-range transport and re-circulation of pollutants in the western mediterranean during the project regional cycles of air pollution in the west-central mediterranean area". *Atmospheric Environment*, 35, pp. 6267-6276.
- HOLTON, J. *et al.* (1995). "Stratosphere-troposphere exchange". *Reviews of Geophysics*, 33, pp. 403-439
- INM (1999). *Estado del Medio ambiente. Información Medio Ambiental. Monografía 1998. Informe técnico*, Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente.
- LEFOHN, A. (1992). *Surface level ozone exposures and their effects on vegetation*. Lewis Publishers.
- LEVY, H. *et al.* (1985). "Tropospheric ozone: the role of transport". *Journal of Geophysical Research*, 90, pp. 3753-3772.
- LOGAN, J. (1985). "Tropospheric ozone: seasonal behavior trends, and anthropogenic influence". *Journal of Geophysical Research*, 90, pp. 10463-10482.
- MILLÁN, M. *et al.* (1992). *Mesometeorological cycles of air pollution in the Iberian Peninsula (MECAPIP)*. Air Pollution Research Report. 44, EUR 14834. European Commission, Bruselas.
- MILLÁN, M. *et al.* (1996). "Meteorology and photochemical air pollution in southern europe: experimental results from EC research projects". *Atmospheric Environment*, 30, pp. 1909-1924.
- MILLÁN, M. *et al.* (1997). "Photooxidant dynamics in the Mediterranean basin in summer: Results from european research projects". *Journal of Geophysical Research*, 102(D7), pp. 8811-8823.

- MILLÁN, M. (1998). Contaminación ambiental en el sur de Europa. En: *Una alternativa para el mundo rural del tercer milenio*.
- MILLÁN, M.; ESTRELA, M.J. and BADENAS, C. (1998). "Meteorological processes relevant to forest fire dynamics on the Spanish Mediterranean Coast". *Journal of Applied Meteorology*, 37, pp. 83-100.
- MONKS, P.S. (2000). "A review of the observations and origins of the spring ozone maximum". *Atmospheric Environment*, 34, pp. 3545-3561.
- MORON, V. and WARD, M. (1998). "ENSO teleconnections with climate variability in the European and African sector". *Weather*, 53, pp.287-295.
- OLTMANS, S. (1981). "Surface ozone measurements in clean air". *Journal of Geophysical Research*, 86, pp. 1174-1180.
- PRICE, J. y VAUGHAN, G. (1992). "Statistical studies of cut-off low systems". *Annals of Geophysics*, 10, pp. 96-102.
- SEUFERT, G. (1997). "A European commission project on biogenic emissions in the mediterranean area". *Atmospheric Environment*, 31, SI 1-SI 225.