

# DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS EPISODIOS DE CONTAMINACIÓN POR OZONO Y SU RELACIÓN CON LAS SITUACIONES SINÓPTICAS EN LA VERTIENTE MEDITERRÁNEA

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

Este estudio pretende ahondar en la caracterización espacial y temporal de los episodios de elevada concentración de ozono superficial, y su relación con los patrones de circulación a escala sinóptica, en un entorno con una topografía compleja, como es la Comunidad Valenciana. Se presta especial atención a la evaluación del forzamiento sinóptico en los episodios. El estudio de las situaciones sinópticas y su relación con los procesos de mesoescala muestran cómo el mayor número de episodios tienen en común una configuración sinóptica que favorece el desarrollo de sistemas mesoescalares, aunque los procesos locales se ven alterados o modificados por las condiciones meteorológicas a gran escala.

**Palabras clave:** Episodios ozono, forzamiento sinóptico, patrones de circulación atmosférica, sistemas mesoescalares.

## ABSTRACT

*This study tries to go deep in the space and temporary characterization of the episodes of high superficial ozone concentration, and its relation with the patterns of circulation on synoptic scale, in surroundings with a complex topography, as it is the Valencian Community. Special attention to the evaluation of the synoptic forcing in the episodes is lent. The synoptic study of the situation and its relation with the processes of mesoescala show as the greater number of episodes has in common a synoptic configuration that favors the development of mesoescalares systems, although the local processes are altered or modified depending on the synoptic situation present.*

**Key words:** Episodes ozone, synoptic forcing, patterns of atmospheric circulation, mesoescalares systems.

## 1. INTRODUCCIÓN

El movimiento del aire se produce bajo la existencia de fuerzas no compensadas que actúan sobre el sistema atmosférico, con orígenes distintos (aunque en último término toda la energía que alimenta el movimiento procede del Sol) que no llegan a equilibrarse nunca. Estas fuerzas actúan simultáneamente, y el resultado neto de las mismas provoca el movimiento efectivo de las masas de aire. Sin embargo, en ocasiones se puede considerar que este movimiento se debe principalmente a la conjunción de algunas fuerzas que se ven potenciadas, distinguiéndose varias categorías o escalas de movimiento. Con carácter muy general se puede hablar de movimientos a gran escala (o macroescala o escala sinóptica), mesoescala (o escala regional) y microescala (o escala local).

Bajo condiciones meteorológicas que dificultan la dispersión atmosférica pueden producirse situaciones de elevadas concentraciones de ozono con potenciales daños a la población.

En este contexto, los sistemas mesoescalares se desarrollan habitualmente en el seno de una circulación general de mayor alcance (escala sinóptica), que las condiciona drásticamente, pudiendo impedir completamente su desarrollo. Por otra parte, estas escalas de mayor alcance son las principales responsables del transporte de contaminantes a larga distancia. Bajo esta perspectiva, resulta interesante el planteamiento de un estudio de la dinámica del ozono que ponga de manifiesto las interrelaciones entre las escalas sinóptica y mesoescalar.

Se pretende profundizar en el conocimiento de la contaminación fotoquímica en entornos regionales, y en particular en las situaciones sinópticas que conducen a episodios con elevada concentración de ozono, analizando su comportamiento espacial y temporal, a partir del estudio de las medidas de inmisión procedentes de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Comunidad Valenciana (RAVCA). De esta forma, se examina la distribución espacial y temporal de los episodios de elevada concentración de ozono en superficie, y su relación con los patrones de flujo sinóptico, en un entorno con una orografía compleja, como es el caso del propio territorio de la Comunidad Valenciana.

## 2. ZONA DE ESTUDIO Y DATOS UTILIZADOS

El área mediterránea está situada en latitudes subtropicales e incluye un mar interior bastante profundo y muy cálido. La distribución de la cuenca incluye varias penínsulas con extensas zonas costeras y, excepto por las costas de Libia y Egipto, el mar está rodeado por altas montañas, que en el caso de la Comunidad Valenciana tienen cotas máximas en torno a los 1.800 m.

Un rasgo característico de la Comunidad Valenciana son las impresionantes gargantas excavadas por algunos ríos para llegar al mar, con paredones de más de 400 m de altura (COSTA, 1999). Estas cuencas o canales, proporcionan caminos naturales de penetración de las masas de aire contaminadas desde la costa hasta las zonas situadas en el interior de la Comunidad.

Para realizar la clasificación de las situaciones sinópticas y meteorológicas que conducen a niveles altos de ozono en la vertiente mediterránea se ha trabajado con los datos de la Red de Calidad Ambiental de la Comunidad Valenciana, habiéndose considerado el periodo de 1997-2001, tomando en consideración un conjunto de 30 estaciones que cubren toda la Comunidad Valenciana. Se procesaron los datos horarios (obtenidos a partir de datos quinceminutales, que superaron un control de calidad). En la figura 1 se muestra la compleja orografía de la Comunidad Valenciana, y las estaciones de medida de la RAVCA.

Además de los datos en superficie medidos en las estaciones de la RAVCA, se utilizaron también los datos de meteorología sinóptica del Instituto Meteorológico Británico (*Metoffice*) y del Centro Americano para Predicción Medioambiental (*NOAA-NCEP*), así como los sondeos atmosféricos del Instituto Nacional de Meteorología Español (*INM*).

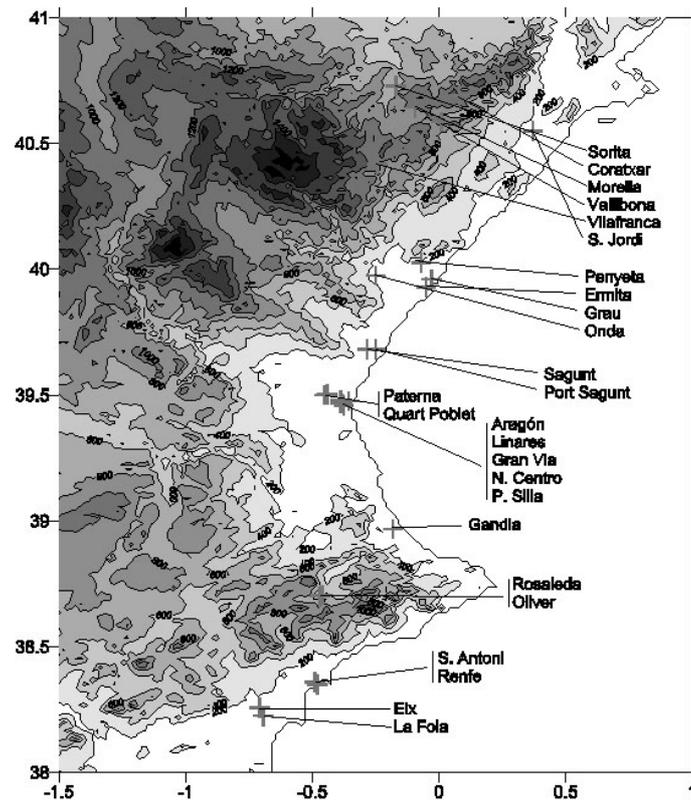


Fig. 1. Orografía de la Comunidad Valenciana y ubicación de las estaciones de medida de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Comunidad Valenciana utilizadas en este trabajo

### 3. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

El primer paso en el estudio consistió en la definición de un umbral a partir del cual se considera que se producen episodios con elevados niveles de ozono. Para esta elección no resultan adecuados los umbrales legales definidos en las Directivas europeas; dado que, en el caso de la Comunidad Valenciana, no son discriminatorios de condiciones episódicas: así, el umbral de protección a la vegetación se supera durante más del 80% de los días al año en las estaciones del interior; por contra, el umbral de información a la población se supera en contadas ocasiones (CASTELL, 2003; CASTELL y MANTILLA, 2002; MIRÓ *et al.*, 2002).

Para la elección del umbral de corte se han tenido en cuenta los valores medios y cuantiles calculados para los años 1997-2001, y que pueden consultarse en CASTELL (2003). Tomando en consideración estos valores se escoge un umbral único para todas las localizaciones y que consiste en el valor promedio horario de  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

A continuación se procedió a delimitar las situaciones de elevada concentración. Para ello no se ha seguido un criterio cerrado, si no un criterio adaptativo al tipo de situación. De esta forma, se han agrupado periodos extensos de varias semanas, en las que se sucedían diferentes tipos sinópticos, pero en los que no se tenía la certeza de renovación de la masa aérea; y también periodos de un solo día, en los que se producían las superaciones de los umbrales en varias estaciones, en este caso se han documentado las condiciones de los días previos y posteriores.

Siguiendo esta metodología se han identificado un total de 74 episodios, incluyendo desde situaciones de sólo un día de duración hasta más de siete días.

Para la clasificación de la circulación en la escala sinóptica se siguió la aproximación “medio ambiente – circulación”, que consiste en delimitar con la variable de estudio los días de interés y observar, a posteriori, bajo que circulación atmosférica acontecen. En este caso, se identificaron los episodios y posteriormente se han determinado las circulaciones atmosféricas asociadas. Para extraer los patrones y las características principales que diferencian a un “tipo” de circulación atmosférica de otro, y en nuestro caso, un “tipo” de episodio de otro, se ha seguido un criterio subjetivo. En el caso particular del estudio de los patrones sinópticos asociados a los niveles de ozono troposférico, Yarnal (YARNAL, 1993) concluye, tras la comparación de varios métodos manuales y computerizados de clasificación, que el método manual se muestra más eficiente. En el caso de la Península Ibérica, FERNÁNDEZ y RASILLA han realizado varios estudios sobre la relación de las concentraciones de ozono y los tipos de tiempo en el área de Madrid, utilizando diferentes técnicas estadísticas (FERNÁNDEZ y RASILLA, 1998 y 1999).

### 3.1. Descripción de las situaciones sinópticas

Las diferentes circulaciones atmosféricas que acontecen durante los episodios de elevada concentración de ozono se han agrupado en seis tipos principales, que se describen sucintamente a continuación (CASTELL *et al.*, 2003):

- TIPO I: Baja al Norte de la Península, con flujo suave el NO sobre la vertiente mediterránea.
- TIPO II: Anticiclón de las Azores, con altas presiones relativas sobre el mediterráneo occidental.
- TIPO III: Anticiclón Británico-Centroeuropeo, con extensión de altas presiones hacia el mediterráneo occidental.
- TIPO IV: Anticiclón Atlántico-Europeo y baja Sahariana.
- TIPO V: Borrasca Atlántica situada en latitudes meridionales.
- TIPO VI: Anticiclón Atlántico-Centroeuropeo.

Tras contabilizar los tipos de situaciones que se dan para cada uno de los meses, se observa cómo ni la frecuencia de ocurrencia, ni la distribución estacional de los diferentes tipos es la misma. De esta forma, el tipo II es el más frecuente, y aparece principalmente en el mes de julio. También tienen una frecuencia alta los tipos VI, III y I. El tipo VI se presenta, también, principalmente en julio, mientras que el tipo III tiene mayor frecuencia en primavera y otoño. La distribución anual de los tipos sinópticos (Fig. 2), muestra como el tipo sinóptico más frecuente es el tipo I, que llega a una frecuencia del 50% en el año 1998. Su frecuencia es claramente mayor en los cuatro años estudiados, sólo en el año 2000 esta se reduce. Los siguientes tipos más frecuentes son el tipo VI, III y I, los dos primeros tienen en común con el tipo II en que en la mayoría de ocasiones, debido al fuerte calentamiento estival, se forma una baja térmica y, en la vertiente mediterránea predominan los ciclos mesoescalares. El tipo I, con un flujo suave del NO puede llegar a traducirse en niveles bastante altos, aunque generalmente este tipo aparece al final de los episodios anunciando una limpieza atmosférica. El tipo V es el menos frecuente, no presentándose esta configuración en algunos de los años de estudio.

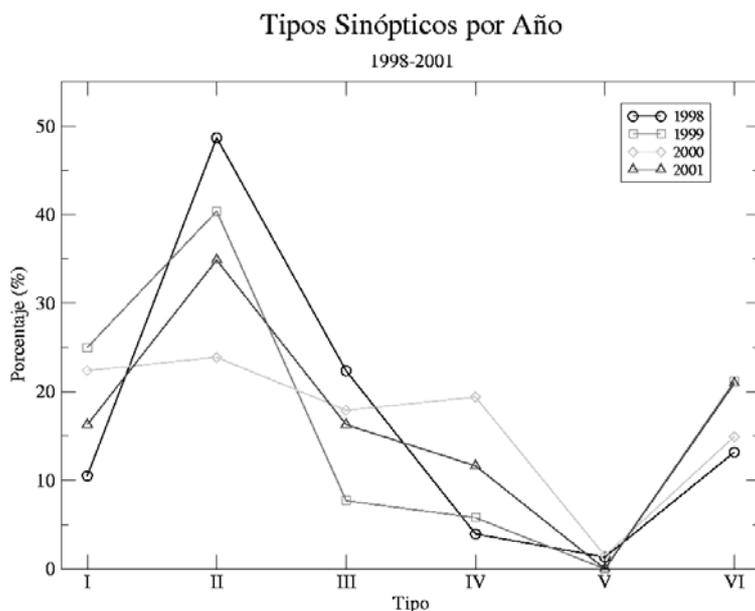


Fig. 2. Frecuencias anuales de cada uno de los tipos sinópticos

Considerando como día episódico aquel en el que el máximo diario supera los  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , se observa cómo la distribución estacional de los episodios presenta diferencias en función de la localización del emplazamiento de medida (Fig. 3), de forma que mientras en las estaciones costeras los días con niveles elevados de concentración de ozono son más probables en primavera; en las estaciones de interior lo son más en verano, cuando las células de brisa alcanzan una mayor extensión espacial.

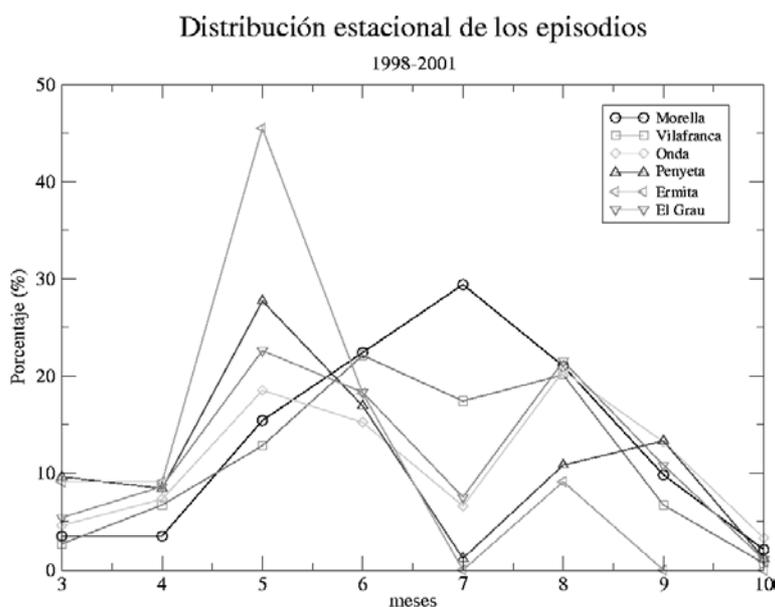


Fig. 3. Distribución espacial y temporal de los días episódicos (el máximo diario supera los  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para cinco de las estaciones de medida

Del estudio particularizado de los episodios, pueden extraerse las siguientes pautas de comportamiento:

- En presencia de un ligero gradiente del oeste (TIPO I) los ciclos de brisa pueden alimentar los estratos elevados.
- Las circulaciones costeras en verano (TIPO II) alcanzan un gran desarrollo acoplando los niveles en amplias zonas tierra adentro.
- La extensión de altas presiones hacia el Mediterráneo desde un anticiclón británico o europeo (TIPO III) favorece los procesos recirculatorios, de forma que tanto las estaciones del litoral como de interior se encuentran dentro de una circulación de brisas.
- La conjunción de altas presiones al norte de la Península y una baja al sur (TIPO IV), favorecen una circulación general de componente Este, que puede no llegar a romper la circulación de brisa en las estaciones costeras. Esta situación puede traducirse en un desacople entre las estaciones de altura y las situadas en el litoral.
- La presencia de una depresión atlántica (TIPO V) se traduce en cierta inestabilidad atmosférica que facilita la dispersión de la masa aérea, favoreciendo la homogeneización de los niveles de ozono en toda la cuenca.
- Bajo una configuración de TIPO VI se favorece un transporte del Noreste sobre la costa mediterránea que ocasionalmente puede introducir picos de elevadas concentraciones en las circulaciones costeras de brisa.

#### 4. CONCLUSIONES

En los días episódicos analizados se observa cómo el desarrollo de estructuras de circulación mesoescalares juega un papel muy importante. No obstante, estas estructuras, fuertemente condicionadas por las características morfológicas del terreno, están también muy ligadas a la dinámica a escala sinóptica. De esta forma, mientras un ligero forzamiento del primer o segundo cuadrante aparece asociado a un gran número de episodios de elevadas concentraciones, con un forzamiento sinóptico moderado del tercer y cuarto cuadrante las excedencias se limitan. Por otro lado, la estructura sinóptica es responsable también del transporte a larga distancia. Así, en varias ocasiones el tipo I puede favorecer la entrada de una masa aérea enriquecida en ozono procedente de la cuenca aérea de Madrid, y los tipos II y III pueden aportar masas envejecidas procedentes de Francia, Italia o Grecia.

Realmente, los episodios son el resultado de la interacción no lineal de múltiples factores físicos que actúan a diferentes escalas meteorológicas.

La identificación de las situaciones sinópticas asociadas a los episodios de elevada concentración de ozono, y la comprensión de los procesos que modifican las circulaciones locales, es una información útil tanto para el diseño de planes de control, como para las tareas de diagnóstico y pronóstico de evolución de los niveles de ozono.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

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

## 6. REFERENCIAS

- 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, 3<sup>a</sup>, 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.
- CASTELL, N. et al. (2003). Estudio preliminar de los patrones sinópticos asociados a episodios de alta contaminación por ozono superficial en la vertiente mediterránea. En: *XXIX Reunión bienal de la Real Sociedad Española de Física*, Vol. 1, pp. 465-466.
- COSTA, M. (1999). *La vegetación y el paisaje en las Tierras Valencianas*. Rueda.
- FERNÁNDEZ, F. and RASILLA, D. (1998). Relationships between synoptic scale atmospheric circulation and ozone concentration in Madrid (Spain). En: *International Geographical Union. Preregional Conference Meeting of the Commission on Climatology*, Evora.
- FERNÁNDEZ, F. y RASILLA, D. (1999). Concentraciones de ozono y tipos de tiempo en el área metropolitana de Madrid. En: *VII Coloquio Ibérico de Geografía*. Vol. I, pp. 31-36.
- MIRÓ, J.V. et al. (2002). PREVIOZONO: Programa especial de vigilancia del ozono troposférico en la Comunidad Valenciana. En: *Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA)*.
- YARNAL, B. (1993). *Synoptic climatology in Environmental Analysis*. Belhaven Press, London.

