

ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE LA PERSISTENCIA DE LAS BRISAS MARINAS Y LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE OZONO EN UN PUNTO DEL LITORAL DE ALICANTE

César AZORÍN-MOLINA*, **; Núria CASTELL-BALAGUER*; Enrique MANTILLA-IGLESIAS* y Millán MILLÁN*

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

** *Grup de Climatologia. Universitat de Barcelona*

RESUMEN

El objetivo de este estudio es analizar el efecto de la persistencia de las brisas marinas sobre los niveles de concentración de ozono troposférico (O_3) en el litoral central de Alicante (sureste de la Península Ibérica, PI). El trabajo utiliza una amplia base de datos de episodios de brisa marina (1414 eventos) seleccionados mediante una técnica manual a partir de observaciones meteorológicas durante el periodo de estudio 2000-2005. La investigación también está basada en varios estadísticos diarios (media, máximo y máximo octohorario) obtenidos a partir de registros 10-minutales de O_3 en dos cabinas costeras de fondo suburbano ubicadas en Elx: estaciones de La Foia y Agroalimentari (Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica, RVVCCA). Los resultados preliminares muestran una relación entre el grado de persistencia de las brisas marinas y las concentraciones superficiales de ozono. Los máximos horarios de ozono descienden y los valores mínimos aumentan, resultando en un incremento de los niveles medios de concentración de ozono para las persistencias de duración moderada. Ésta influencia podría estar asociada a los procesos de producción y dispersión relacionados con el desarrollo de los sistemas mesoescalares.

Palabras clave: Brisas marinas, persistencia, ozono troposférico, litoral de Alicante

ABSTRACT

The aim of this study is to analyse the effect of the persistence of sea breezes on the tropospheric ozone concentration levels (O_3) in the central littoral of Alicante (southeast region of the Iberian Peninsula, IP). The work uses a large database of sea breeze episodes (1414 events) selected by a manual technique from meteorological recordings during the study period 2000-2005. The research is also based on some daily statistics (mean, maximum and maximum 8-hourly) obtained from 10-minute O_3 records in two suburban coastal stations located in Elx: La Foia and Agroalimentari stations (Valencian Network of Control and Security of the Atmospheric Pollution, RVVCCA). The preliminary results show a relationship between the degree of persistence of sea breezes and surface concentrations of O_3 . The hourly maximum of O_3 decrease and the minimum values of O_3 increase, resulting in an increase in the mean levels of O_3 for persistences of moderate duration. This influence could be associated with the dispersion and production processes related to the development of mesoscale systems.

Keywords: *Sea breezes, persistence, tropospheric ozone, littoral of Alicante*

1. INTRODUCCIÓN

Las brisas marinas representan la principal circulación mesoescalar- β de vientos por su elevado grado de ocurrencia (SALVADOR y MILLÁN, 2003; AZORÍN-MOLINA, 2004) y persistencia (AZORIN-MOLINA y MARTIN-VIDE, 2007) durante el semestre cálido del año (mayo-octubre) en la costa mediterránea de la Península Ibérica (PI). En general, las brisas marinas soplan desde las 09-10h UTC a las 21-22h UTC en verano (duración media de soplo: 12h); de las 12-13h UTC a las 17-18h UTC en invierno (entre 4 y 6h); y de las 10-11h UTC a las 19-20h UTC (entre 8 a 10h) en primavera y otoño. La velocidad media de las brisas marinas mediterráneas durante el verano es aproximadamente de 2.8 m s^{-1} , y de 2.2 m s^{-1} en invierno (SAARONI *et al.*, 2004). Las velocidades alcanzan rachas máximas entre 5 y 10 m s^{-1} (OLCINA-CANTOS y AZORIN-MOLINA, 2004) y son más intensas en primavera (SALVADOR y MILLÁN, 2003). Esta circulación de origen térmico se desarrolla bajo condiciones meteorológicas dominadas por una circulación anticiclónica, vientos sinópticos débiles, cielos prácticamente despejados y elevada insolación (RAMIS y ALONSO, 1988; RAMIS y ROMERO, 1995; YAN y ANTHES, 1997).

Estudios numéricos y experimentales han demostrado la importancia del efecto de las brisas marinas y los vientos locales en la dinámica de transporte y difusión turbulenta (mezcla), fumigación, recirculación y deposición, que controlan la concentración de material particulado atmosférico fino ($\text{PM}_{2.5}$, $<2.5 \mu\text{m}$) y grueso (PM_{10} , $<10 \mu\text{m}$), (MELAS *et al.*, 1995a, b, 1998, 2000; KAMBEZIDIS *et al.*, 1998; CASTELL *et al.*, 2004). Estos procesos dan lugar a una elevada residencia (GANGOITI *et al.*, 2001) y envejecimiento del material particulado atmosférico (PM primario) (KITADA *et al.*, 1986; SHAIR *et al.*, 1982; ABBS y PHYSICK, 1992) y, en consecuencia, un mayor tiempo de mezcla, que favorece una fotoquímica activa (LALAS *et al.*, 1983) y la formación de nuevo material particulado (PM secundario). Los proyectos MECAPIP (MILLAN *et al.*, 1992), RECAPMA (MILLAN *et al.*, 1997) y SECAP han representado los esfuerzos europeos en investigación sobre la influencia de las recirculaciones mesoescales sobre la dinámica de ozono y la calidad del aire en el área mediterránea (MILLAN, 2002).

La contaminación por ozono presenta un comportamiento altamente no lineal debido a la complejidad intrínseca del propio sistema atmosférico y de los procesos que dan lugar a la formación en la atmósfera de dicha especie a partir de sus precursores, al que contribuyen multitud de factores de distinta naturaleza: (a) derivados de la dinámica atmosférica local, donde se superponen distintas escalas de movimiento (sinóptica y mesoescalar); (b) del campo de emisiones, tanto biogénicas como antropogénicas, fuertemente variables en tiempo y espacio; y (c) finalmente derivadas de las características geomorfológicas de la vertiente levantina, como parte de la cuenca del Mediterráneo Occidental (CASTELL, 2001; CASTELL *et al.*, 2004). En los últimos años se han realizado esfuerzos por comprender mejor cómo influyen los parámetros meteorológicos en la dinámica espacio-temporal de las especies contaminantes. Elevados índices de insolación, altas temperaturas y baja humedad relativa del aire favorecen una fotoquímica activa (CASTELL *et al.*, 2008). Sin embargo, el viento y la difusión turbulenta son los principales factores meteorológicos (PAPANASTASIOU y MELAS, 2008) que pueden provocar una mejora o empeoramiento de la calidad del aire

(KITADA, 1987; HSU, 1988; PHYSICK y ABBS, 1992; GAZA, 1998; SEAMAN y MICHELSON, 2000; GANGOITI *et al.*, 2002; PAPANASTASIOU y MELAS, 2008) en función de los procesos de transporte y dispersión.

El objetivo de esta investigación es iniciar el estudio del posible efecto de la persistencia de las brisas marinas sobre el comportamiento de los niveles de concentración de ozono, en tanto condicionan los principales mecanismos de limpieza. La hipótesis de partida presupone que los factores que favorecen la persistencia de circulaciones locales, potencian también la formación de ozono, de manera directa (al reducir la renovación de las masas de aire, obligadas a recircular bajo la directriz de movimientos atmosféricos de desarrollo limitado, más o menos cerrados y con una marcada alternancia día/noche) e indirecta (en tanto que los factores que propician el desarrollo de tales circulaciones –estabilidad atmosférica, elevada insolación, escaso transporte a gran escala, etc.- estimulan también la formación de ozono troposférico).

2. DATOS Y METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

La Figura 1 representa el área de estudio, que corresponde al sector litoral de la Costa Blanca comprendido entre la bahía de Alicante y el golfo de Santa Pola. La zona se sitúa en la vertiente sureste de la PI (litoral sur de la Comunidad Valenciana), como parte de la cuenca del Mediterráneo Occidental.

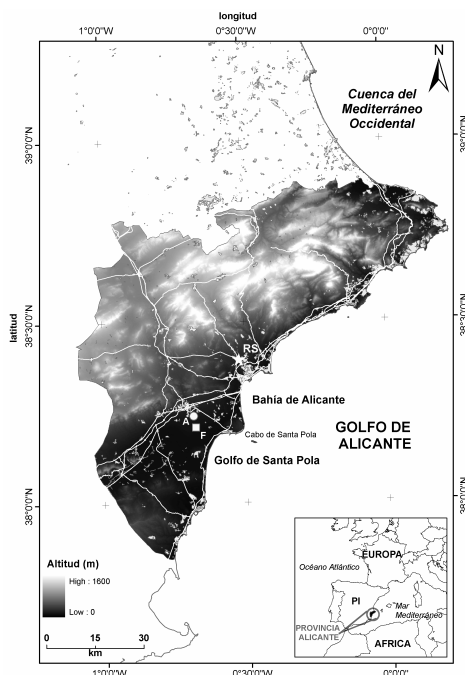


Fig. 1: Mapa topográfico del área de estudio con la localización de la estación de referencia (RS) y las cabinas de medida de ozono superficial (Agroalimentari, A; La Foia, F).

En general, la línea de costa del Golfo de Alicante es de tipología cóncava, por lo que en teoría las brisas marinas tienden a divergir en ella. La única excepción sobre esta zona corresponde a la naturaleza convexa del cabo de Santa Pola. El área de estudio es un llano costero-litoral con los relieves prebéticos (1000-1600 metros) retranqueados al interior a unos 10 a 15 km.

El área metropolitana de Alicante-Elx representa la octava conurbación de todo el territorio nacional, con aproximadamente 750.000 habitantes. La economía está basada en el sector servicios (turismo), pero también destaca la industria del calzado en la población de Elx. El resultado es una elevada densidad de población que mueve un importante parque automovilístico y numerosas autopistas y carreteras próximas a la línea de costa. Estas son las principales fuentes de emisión de especies contaminantes.

2.2. Datos de ozono

Este trabajo utiliza las medidas 10-minutales de ozono disponibles en siete cabinas litorales pertenecientes a la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica (RVVCCA), dependientes de la Generalitat Valenciana: Alicante (El Pla; Renfe; Sant Antoni), Elx (Agroalimentari; La Foia; Parc de Bombers) y Sant Vicent del Raspeig, durante el periodo de estudio 2000-2005. Los datos fueron sometidos a un control previo de calidad. Las estaciones de medida de fondo urbano (El Pla; Parc de Bombers; Renfe; Sant Antoni; Sant Vicent del Raspeig) fueron descartadas para los análisis debido a que los niveles de ozono están fuertemente influenciados por las elevadas concentraciones de NO_x con origen en el tráfico rodado. Las cabinas situadas en la pedanía de La Foia y el polígono industrial de Agroalimentari fueron seleccionadas al estar ubicadas en entornos suburbanos con un menor impacto de los NO_x. Ambas cabinas se sitúan en el llano litoral del campo de Elx, al sur del núcleo urbano, en el tramo bajo del río-rambla Vinalopó. La cabina de La Foia cubrió el periodo del 01/01/2000 al 13/06/2002, y fue trasladada al polígono industrial de Agroalimentari, donde estuvo funcionando del 27/06/2002 al 31/12/2005. El porcentaje de lagunas en los datos diarios representa menos del 13.0% durante los seis años del periodo de estudio. La Tabla 1 muestra las características de las cabinas de medida.

Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m)	Dist. al mar (km)	Sensores
Agroalimentari	38°14'32''N	0°40'58''O	44	9.6	SO ₂ , CO, NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PST, meteo
La Foia	38°12'42''N	0°41'06''O	23	7.5	SO ₂ , CO, NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , PST, meteo

Tabla 1: CARACTERÍSTICAS DE LAS CABINAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO. LOS SENSORES "METEO" CORRESPONDEN A LA TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA, VIENTO, PRECIPITACIÓN, PRESIÓN ATMOSFÉRICA Y RADIACIÓN

Los datos 10-minutales de ozono de ambos emplazamientos fueron posteriormente normalizados de manera independiente con el fin de eliminar un posible sesgo debido al cambio de localización de la cabina en los niveles de concentración de ozono. Tras el proceso

de normalización, ambas poblaciones pasaron a tener una distribución con igual media (0) y varianza (1), por lo que se procesaron como una única serie.

A partir de los promedios horarios normalizados se calcularon varios parámetros de interés siguiendo los criterios especificados en la Directiva 97/101/CE: media diaria, máximo horario diario y máximo octohorario diario de concentración de ozono. Además de su interés normativo, los tres parámetros pueden identificarse cualitativamente con algunos de los aspectos de la dinámica del ozono. Así, los valores medios diarios, máximo horario y máximo octohorario se relacionarían con la oscilación diurna de la onda de ozono, la máxima producción local y la carga de la masa aérea, respectivamente.

2.3. Método de selección manual y persistencia de las brisas marinas

En este estudio se utiliza la base de datos de eventos de brisa marina construida por AZORIN-MOLINA (2007) mediante una técnica de selección manual. Los métodos objetivos subestiman los episodios de brisas marinas y, por tanto, no son los más adecuados para evaluar estadísticamente la ocurrencia y persistencia de estos vientos locales (BORNE *et al.*, 1998; AZORIN-MOLINA y MARTIN-VIDE, 2007). Los datos meteorológicos 30-minutales fueron obtenidos de la estación meteorológica automática dependiente del Laboratorio de Climatología de la Universidad de Alicante (38°23'N y 0°31'O; a 102 m sobre el nivel del mar y a 5.1 km con respecto a la línea de costa). Esta torre meteorológica dista 24.3 km y 21.5 km en relación a las cabinas de La Foia y Agroalimentari, respectivamente.

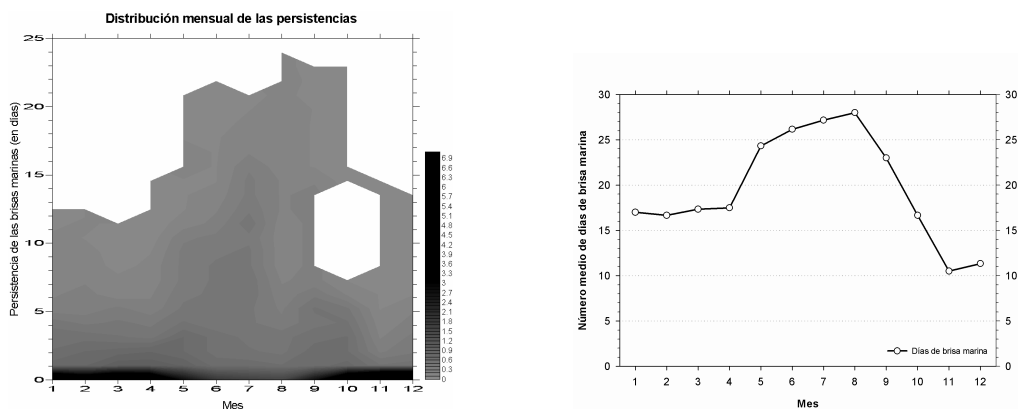


Fig. 2: (a) Distribución mensual de frecuencias de las persistencias y (b) número medio de días de brisa marina en la estación de referencia durante el periodo 2000-2005

Los criterios y/o filtros de identificación manual (AZORIN-MOLINA, 2004; 2007) de episodios de brisa marina están basados en: (a) un cambio brusco en la dirección del viento (STEYN y FAULKNER, 1986; REDAÑO *et al.*, 1991; BANFIELD, 1991; BORNE *et al.*, 1998; FURBERG *et al.*, 2002) no atribuido a flujos sinópticos (SALVADOR y MILLÁN, 2003), y aumento en la velocidad del viento sin exceder 13.9 m s^{-1} , con circulaciones de mar a tierra (entre 45.0° y 180.0°) durante un mínimo de $\geq 2 \text{ h}$; (b) un descenso brusco en la curva diurna de la temperatura del aire; (c) un aumento en la curva diurna de la humedad relativa del

aire (GUSTAVSSON *et al.*, 1995); (d) una ausencia de precipitación antes del disparo de las brisas marinas. El método manual clasifica los datos meteorológicos de forma minuciosa en dos categorías: (1) brisas marinas (1414 episodios; $P_1 = [1]/N = 64.4\%$), y (2) días sin brisas marinas (781 eventos; $P_0 = [0]/N$ ó $1 - P_1 = 35.6\%$).

La persistencia de las brisas marinas fue calculada a partir de la secuencia de días con la condición 1 (brisa marina) ó 0 (sin brisa marina) durante el periodo de estudio 2000-2005. El método de las rachas (AZORIN-MOLINA y MARTIN-VIDE, 2007) asignó a cada día la longitud en número de días consecutivos con soplo de las brisas marinas. La persistencia máxima observada fue de 46 jornadas (del 11/07/2000 al 25/08/2000). Sin embargo, en el siguiente apartado de resultados tan sólo se analizan las persistencias de menos de 26 días, puesto que las superiores a este umbral apenas representan un 2.4% de la población. La Figura 2 muestra la distribución mensual de las persistencias y del número medio de días de brisas marinas. Se aprecia que durante la temporada cálida (mayo-octubre) se registra un mayor número absoluto de días de brisa marina, distribuidos sobre periodos más largos de persistencias, mientras que en los meses fríos (noviembre-abril) el número es menor, aunque con mayor proporción de rachas cortas.

3. RESULTADOS

3.1. Persistencia de las brisas marinas y niveles de concentración de ozono

El impacto de la persistencia de las brisas marinas en las concentraciones normalizadas de ozono superficial se ha realizado mediante el cálculo de varios estadísticos descriptivos (media, mediana, máximo y mínimo) para los tres parámetros de ozono calculados previamente, es decir: (a) media diaria, (b) máximo horario diario, y (c) máximo octohorario diario. En los cálculos se consideraron las persistencias de duración inferior a 26 días.

La Figura 3 presenta la distribución de los cuatro estadísticos descriptivos para la serie de concentraciones máximas horarias diarias. Los resultados obtenidos al analizar la distribución de la media y mediana de concentración de ozono según la persistencia de las brisas marinas son varios. En primer lugar, la media más baja (0.78) del máximo horario diario se registra para la primera categoría ($n = 0$), es decir, en los días sin desarrollo de brisas marinas. Durante estas jornadas la situación atmosférica se caracteriza en general por una mayor inestabilidad, velocidades de viento más elevadas, lo que provoca una mayor dilución de los contaminantes (PAPANASTASIOU y MELAS, 2008), existe mayor nubosidad, menor insolación y, en consecuencia, una fotoquímica marcadamente debilitada. Las concentraciones medias aumentan para las persistencias de duración $n = 1$ día (1.07), y se mantienen más o menos estables hasta las persistencias de $n = 6$ días (1.22). Al aplicar un polinomio de segundo grado a las curvas de la media ($R^2 = 0.74$) y mediana ($R^2 = 0.66$) se detecta un aumento gradual de las concentraciones medias máximas de ozono superficial a partir de la séptima jornada, alcanzándose los valores más alejados respecto a 0 entre las persistencias de duración intermedia: 1.70 en la persistencia $n = 21$. En cambio, se detecta un descenso en los valores normalizados de ozono superficial en las persistencias de mayor duración: 0.92 en la persistencia $n = 25$. Estos periodos largos se desarrollan en los meses centrales del verano (ver Figura 2), cuando la célula de brisa marina alcanza su máximo desarrollo favoreciendo una mayor penetración de los contaminantes costeros (CASTELL *et al.*, 2004).

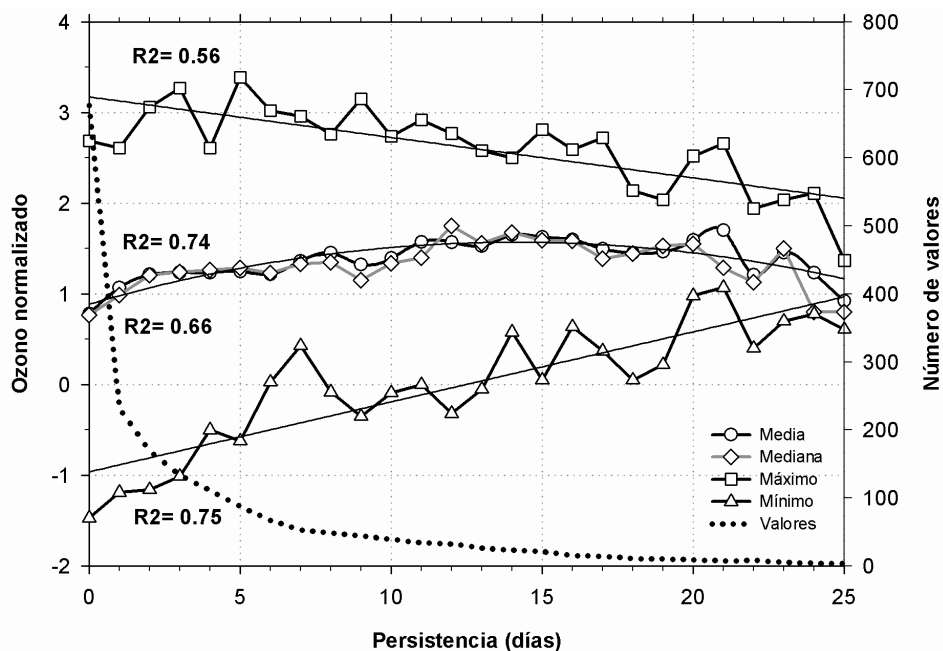


Fig. 3: Distribución de varios estadísticos del máximo horario diario de ozono en función de la duración de las persistencias de las brisas marinas durante el periodo 2000-2005

El comportamiento de los valores máximos de la población muestra una disminución con la persistencia. El resultado principal es que a mayor grado de persistencia de las brisas marinas, los valores máximos del máximo horario diario decrecen ($R^2=0.56$). Las persistencias de brisa marina de menor duración, aquellas de $n = 1$ a 5 días, la tendencia del máximo se mantiene estable o incluso asciende. Así pues, el máximo absoluto del máximo horario diario (3.39) se detecta en la persistencia de $n = 5$ días. A partir de este valor de persistencia las concentraciones máximas de ozono superficial presentan una tendencia de descenso, con mínimos para las persistencias de mayor duración: máximo horario (1.37 en la persistencia $n = 25$). Esta reducción de los valores pico diarios de las concentraciones de ozono podría encontrar su explicación en la relación entre la mayor duración temporal y un mayor desarrollo horizontal y vertical, es decir, células de brisa de mayor extensión, que favorecería una dilución en la masa aérea, y en los niveles de ozono. Por contra, las persistencias más cortas estarían asociadas a un menor desarrollo de la brisa marina, en la que las células de brisa no penetran grandes distancias hacia el interior, lo que se traduce en un mayor confinamiento de la masa aérea, dando lugar a mayores concentraciones de ozono en las estaciones de medida costeras (CASTELL y MANTILLA, 2004).

En el caso del mínimo, al contrario que sucedía con el máximo, el resultado más destacado es que a mayor grado de persistencia de las brisas marinas, los valores mínimos del máximo horario diario aumentan ($R^2=0.75$). Los mínimos absolutos en los niveles de concentración de ozono se miden en los días sin brisa marina ($n = 0$; -1.47). A partir de este valor se observa una línea de tendencia marcadamente ascendente hasta valores positivos que se alcanzan en las persistencias de brisas marinas de mayor duración ($n = 21$; 1.07). La tendencia creciente de los

valores mínimos (recuérdese que se trata de la población de máximos horarios diarios de concentración de ozono) parece indicar una recarga progresiva de la masa aérea respecto a los niveles base de ozono, consecuencia de un envejecimiento paulatino de la masa aérea con la persistencia de las circulaciones de brisas marinas (efecto del confinamiento dinámico y poca renovación de la masa de aire ya señalado). Diversos estudios realizados en la cuenca mediterránea occidental han documentado una clara estratificación vertical en la masa de aire sobre el mar, de forma que los estratos de aire envejecido (recirculado durante varias jornadas) entran durante la mañana con la nueva brisa del mar, lo que se traduce en un aumento paulatino de las concentraciones de ozono (MILLÁN *et al.*, 1992).

3.2. Dependencia estacional entre persistencia de las brisas marinas y concentraciones de ozono

Resulta también de interés analizar el efecto de la persistencia de las brisas marinas en función de la época del año. La Figura 4 muestra la distribución mensual media de los niveles de concentración de ozono para el máximo octohorario diario (el comportamiento es muy similar para los tres parámetros estudiados). La característica principal corresponde a la marcada estacionalidad en los niveles de concentración de ozono entre los periodos de noviembre-marzo y abril-septiembre, resultado que ha sido puesto de manifiesto en investigaciones previas (CASTELL *et al.*, 2004).

El periodo noviembre-marzo se caracteriza por un menor grado de persistencia de las brisas marinas, y por niveles bajos de concentración de ozono superficial. La Figura 4 ofrece un claro gradiente de concentración entre enero y abril, con aumento progresivo de los niveles de ozono superficial, mientras que sucede lo contrario entre octubre y diciembre. Este gradiente se observa en forma de líneas verticales y paralelas entre sí, lo que pone de manifiesto que preferentemente durante el periodo frío (noviembre-marzo) la dinámica temporal del ozono está condicionada por la estacionalidad de los procesos fotoquímicos asociados básicamente a la insolación y la temperatura. Por tanto, el impacto de la persistencia de las brisas marinas es menos discernible durante este periodo.

En cambio, en el periodo abril-octubre, cuando se concentran los niveles más elevados de ozono troposférico, el gradiente desaparece y se detectan áreas con mayor o menor concentración de este contaminante fotoquímico en función del grado de persistencia de las brisas marinas. La Figura 4 muestra que el valor medio es mayor en los meses de abril y mayo, y precisamente para las persistencias intermedias (no las más largas). En primavera la célula de brisa marina no alcanza aún un gran desarrollo, por lo que el efecto de confinamiento resulta mayor que en periodos con las células más desarrolladas (estival), provocando una elevada concentración de las especies contaminantes. En los meses centrales del verano la célula de brisa marina se dilata en relación a un mayor caldeo diurno, que incluso puede llegar a observarse a escala sinóptica en los campos de presión en superficie en forma de una baja térmica en el centro de la PI. La producción fotoquímica también es más importante en relación a índices de insolación elevados y altas temperaturas. Sin embargo, el efecto de una circulación de brisa marina más desarrollada es una mayor eficacia de los procesos de ventilación y dilución en los meses centrales del verano, particularmente en julio y agosto. Por ejemplo, en la Figura 4 se observa un mínimo en la media de las concentraciones máximas octohorarias diarias para las persistencias de duración $n = 16-18$ días.

6. AGRADECIMIENTOS

La Fundación CEAM está cofinanciada por la Generalitat Valenciana y BANCAIXA, y participa en el Programa CONSOLIDER - INGENIO 2010 (Proyecto GRACCIE). Esta investigación forma parte del proyecto PREVIOZONO, financiado por la Generalitat Valenciana.

7. REFERENCIAS

- ABBS, D.J., y PHYSICK, W.L. (1992). "Sea breeze observations and modelling: a review". *Australian Meteorological Magazine*, 41, pp. 7-19.
- AZORÍN MOLINA, C. (2004): "Estimación de la ocurrencia de la brisa marina en Alicante". En García Codrón *et al.* (eds). *El Clima, entre el Mar y la Montaña*. AEC, Serie A, 4, Santander, pp. 19-29.
- AZORIN-MOLINA, C. (2007): A climatological study of sea breezes in Alicante. Sea breeze fronts over the Iberian Mediterranean area and the isle of Mallorca. Tesis Doctoral, Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante, Alicante, 288 pp.
- AZORIN-MOLINA, C. y MARTÍN-VIDE, J. (2007): "Methodological approach to the study of the daily persistence of the sea-breeze in Alicante (Spain)". *Atmosfera*, 20 (1), pp. 57-81.
- BANFIELD, C. E. (1991): "The frequency and surface characteristics of sea breezes at St. Johns, Newfoundland". *Climatol. Bull.*, n.º 25 (1), pp. 3-20.
- BORNE, K., CHEN, D., NUNEZ, M. (1998): «A method for finding sea breeze days under stable synoptic conditions and its application to the swedish west coast», en *International Journal of Climatology*, 18, pp. 901-914.
- CASTELL BALAGUER, N. (2001). "Estudio de la dinámica del ozono mediante técnicas del análisis no lineal". *Revista Internacional de Sistemas*, 2, pp. 23-28.
- CASTELL BALAGUER, N. y MANTILLA IGLESIAS, E. (2004). *Estudio de los episodios de contaminación por ozono en la Comunidad Valenciana*. Consellería de Territori i Habitatge, Generalitat Valenciana.
- CASTELL BALAGUER, N., MANTILLA IGLESIAS, E., LÓPEZ BAEZA, E., y FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (2004). "Comparación de la variabilidad temporal de los niveles de ozono en un entorno costero y en un entorno interior". En García Codrón *et al.* (eds). *El Clima, entre el Mar y la Montaña*. AEC, Serie A, 4, Santander, pp. 591-598.
- CASTELL BALAGUER, N., MANTILLA, E., y MILLÁN, M. (2008). "Analysis of tropospheric ozone concentration on a western mediterranean site: Castellon (Spain)". *Environmental Monitoring and Assessment*, 136, pp. 3-11.
- FURBERG, M., STEYN, D. G. y BALDI, M. (2002): "The climatology of sea breezes on Sardinia". *International Journal of Climatology*, 22, pp. 917-932.
- GANGOITI, G., MILLÁN, M., SALVADOR, R., y MANTILLA, E. (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.
- GANGOITI, G., ALONSO, M., NAVAZO, M., ALBIZURI, A., PEREZ-LANDA, G., MATABUENA, M., VALDENEBRO, V., MARURI, M., GARCIA, J.A., MILLAN, M.A. (2002). "Regional transport of pollutants over the Bay of Biscay: analysis of an

- ozone episode under a blocking anticyclone in west central Europe”. *Atmospheric Environment*, 36, pp. 21349-21361.
- GAZA, R.S. (1998). “Mesoscale meteorology and high ozone in the northeast United States”. *Journal of Applied Meteorology*, 37, pp. 961-977.
- GUSTAVSSON, T., LINDQVIST, S., BORNE, K. y BOGREN, J. (1995): «A study of sea and land breezes in an archipelago on the west coast of Sweden», en *International Journal of Climatology*, 15, The Royal Meteorological Society, pp. 785-800.
- HSU, S.A. (1988). *Coastal Meteorology*. Academic: San Diego, CA.
- KAMBEZIDIS, H.D., WEIDAUER, D., MELAS, D., y ULBRICHT, M. (1998). “Air quality in the Athens basin during sea breeze and non sea breeze days using laser remote sensing technique”. *Atmospheric Environment*, 32, pp. 2173-2182.
- KITADA, T., IGARASHI, K., y OWADA, M., (1986). Numerical analysis of air pollution in a combined field of land/sea breeze and mountain/valley wind. *Journal of Applied Meteorology*, 25, pp. 767-784.
- KITADA, T. (1987). “Turbulence structure of sea breeze front and its implication in air pollution transport – Application of k-e turbulence model. *Boundary Layer Meteorology*, 41, pp. 217-239.
- LALAS, D.P., ASIMAKOPOULOS, D.N., DELIGIORGI, D.G., HELMIS, C.G. (1983). “Sea breeze circulation and photochemical pollution in Athens, Greece”. *Atmospheric Environment*, 17, pp. 1621-1632.
- MELAS, D., KAMBEZIDIS, H.D., WALMSLEY, J.L., MOUSSIOPOULOS, N., BORNSTEIN, R.D., KLEMM, O., ASIMAKOPOULOS, D.N., y SCHIERMEIER, F.A., (1995a). “NATO/CCMS pilot study workshop on air pollution transport and diffusion over coastal urban areas. *Atmospheric Environment*, 29, pp. 3713-3718.
- MELAS, D., ZIOMAS, I.C., y ZEREFOS, C.H., (1995b). “Boundary layer dynamics in an urban coastal environment under sea breeze conditions”. *Atmospheric Environment*, 29, pp. 3605-3617.
- MELAS, D., ZIOMAS, I.C., KLEMM, O., y ZEREFOS, C.H., (1998). “Anatomy of sea breeze circulation in Athens area under weak large scale ambient winds”. *Atmospheric Environment*, 32, pp. 2223-2237
- MELAS, D., LAVAGNINI, A., y SEMPREVIVA, A. (2000). “An investigation of the boundary layer dynamics of Sardinia Island under sea breeze conditions”. *Journal of Applied Meteorology*, 39, pp. 516-524.
- MILLAN, M., ARTIÑANO, B., ALONSO, L., CASTRO, M., FERNANDEZ-PATIER, R., y GOBERNA, J. (1992). “Mesometeorological cycles of air pollution in the Iberian Peninsula (MECAPIP). Air Pollution Research Report. European Commission, 44, EUR 14834.
- MILLAN, M., SALVADOR, R., MANTILLA, E., y KALLOS, G. (1997). Photooxidant dynamics in the Mediterranean basin in summer: Results from European research projects. *Journal of Geophysical Research*, 102(D7), pp. 8811-8823.
- MILLAN, M. (2002). “Ozone dynamics in the Mediterranean basin”. A collection of scientific papers resulting from the MECAPIP, RECAPMA and SECAP projects. Air pollution Research Report 78. Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM): Valencia.
- OLCINA-CANTOS, J. y AZORIN-MOLINA, C. (2004): “The meteorological importance of sea breezes in the Levant region of Spain”. *Weather*, 10, pp. 282-285.
- PAPANASTASIOU, D. K., y MELAS, D. (2008): “Climatology and impact on air quality of sea breeze in an urban coastal environment”. *International Journal of Climatology*. En prensa.