

# ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL ENTORNO DE LA BAHÍA DE SANTANDER: PRIMEROS RESULTADOS

Antonio HERNÁNDEZ; Juan Carlos GARCÍA CODRON y Domingo RASILLA  
*GIMENA (Grupo de Investigación del Medio Natural)*

*Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio, Universidad de Cantabria*

## RESUMEN

Este trabajo relaciona las concentraciones medias diarias de distintos contaminantes en la bahía de Santander con el estado de la atmósfera y la circulación atmosférica. Los resultados provisionales señalan la primacía de las situaciones inestables para disminuir la concentración de los principales contaminantes primarios, pero elevar la concentración del ozono, probablemente como consecuencia de su transporte desde otros orígenes. Este mecanismo es opuesto al encontrado en otras ciudades de la Península Ibérica, en las que se requiere el estancamiento de masas de aire para la aparición de episodios de ozono de naturaleza fotoquímica.

**Palabras clave:** Climatología sinóptica, bahía de Santander, transporte de contaminantes.

## ABSTRACT

*The relationships between synoptic airflows, weather conditions and daily mean concentrations of several pollutants at the bahía de Santander are investigated in this paper. Regional airflows are categorized using a modified weather type catalogue, and surface data were used to highlight the environmental conditions conducive to increases or decreases of those pollutants. The findings highlight the dominant role of disturbed weather and atlantic airflows in producing low levels of primary pollutants and peak ozone episodes, via long range transport of polluted air masses from a source region, or even stratospheric intrusions. This behavior is the inverse of that found in other urban environments where air-mass stagnation leads to episodes of photochemical ozone.*

**Key words:** Synoptic climatology, bahía de Santander, long range transport of pollutants.

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es un problema ambiental de primer orden en la mayoría de los países industrializados. Si bien es cierto es que el hombre tiene una indudable responsabilidad en la emisión de grandes cantidades de compuestos “contaminantes”, la atmósfera desempeña un papel fundamental en la variabilidad espacial y temporal de esas concentraciones. El establecimiento de vínculos entre contaminación y dinámica atmosférica posee un interés no únicamente descriptivo, sino prospectivo, en especial la estimación de los niveles de riesgo a partir de las salidas de los modelos numéricos de predicción meteorológica.

En este trabajo se analiza la relación entre la variabilidad diaria de la concentración de distintos contaminantes en el entorno de la bahía de Santander y las condiciones climáticas regionales, poniendo el énfasis en los mecanismos que propician los episodios anómalos de ozono.

## 2. FUENTES Y MÉTODOLÓGÍA

La información sobre la concentración de contaminantes (medias diarias) procede de la *Red de Control de Calidad del Aire en Cantabria*, gestionada por el *Centro de Investigaciones Medioambientales* (CIMA; Consejería de Medio Ambiente del Gobierno Regional de Cantabria). Dos de las estaciones elegidas están ubicadas en la ciudad de Santander (Santander-Centro y Tetuán), y otras dos en los alrededores -Maliaño y Guarnizo- (Fig. 1). Las series, que abarcan desde enero de 1999 a diciembre de 2001, presentan algunas lagunas, (mínimo del 4% y un máximo del 16%) que fueron rellenadas, siempre que no superaron los 3 días consecutivos, mediante correlación con las estaciones vecinas.



Fig.1. Localización de las estaciones de la Red de Control de la Calidad del Aire en Cantabria en el entorno de Santander

La caracterización de las condiciones atmosféricas procede de las observaciones sinópticas (00; 07; 12 y 18 TMG) efectuadas en el observatorio del Aeropuerto de Parayas (fichero DCAS), seleccionándose aquellos parámetros con mayor relación con los procesos de formación y dispersión de contaminantes (insolación, la dirección y velocidad del viento, temperatura).

La circulación atmosférica ha sido analizada a partir de una clasificación diaria de tipos de circulación (Fig. 2) obtenido aplicando un procedimiento de clasificación automático que transforma los valores diarios de presión atmosférica sobre una serie de puntos de rejilla en índices cuantitativos que definen los distintos tipos sinópticos (FERNÁNDEZ GARCÍA *et al.*, 2002). Los valores de presión atmosférica proceden de la base de datos REANALYSIS (<http://www.cru.uea.ac.uk>).

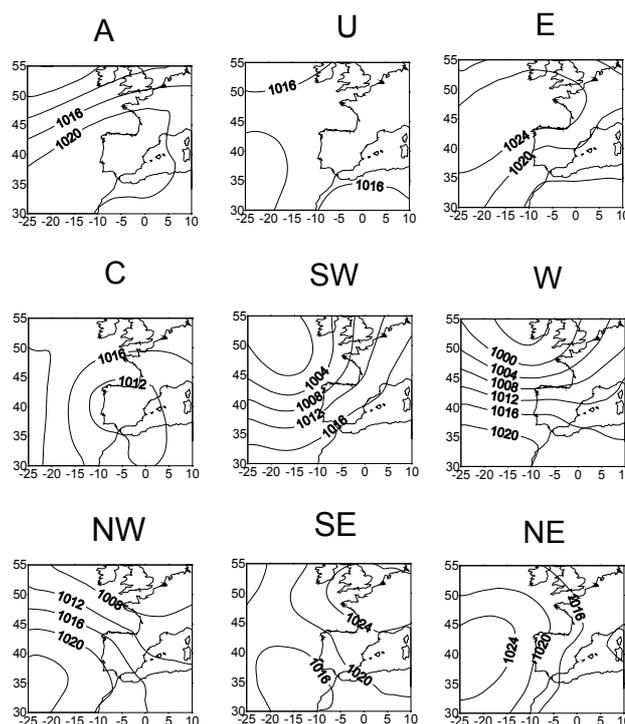


Fig. 2. Configuración media del mapa de presión atmosférica en cada uno de los tipos de circulación

La concentración de la mayoría de los contaminantes primarios está muy vinculada a la actividad de sus fuentes de emisión, detectándose diversos ciclos que dificultan la búsqueda de conexiones con la variabilidad de la atmósfera (YARNAL, 1993; FERNÁNDEZ GARCÍA y RASILLA, 1999). El primer ciclo detectado posee una periodicidad semanal; en el caso de los contaminantes primarios (partículas, NO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>) los valores mínimos se observan durante los fines de semana, mientras los máximos aparecen en los días laborables, especialmente los jueves y viernes (Fig. 3a). Por el contrario, el CO y el ozono muestran un ciclo inverso, en el que los valores más bajos aparecen durante los días laborables, y los más altos durante el fin de semana (Fig. 3b).

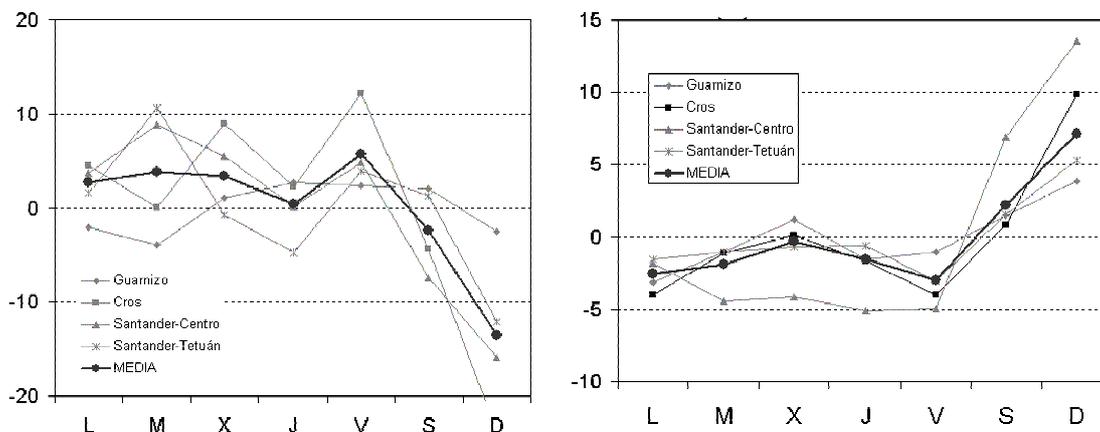


Fig. 3. Desviaciones con respecto a la media de las concentraciones de SO<sub>2</sub> (a) y O<sub>3</sub> (b), según días de la semana (Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CIMA)

Otro ciclo muy evidente posee un carácter estacional; por ejemplo, los contaminantes de origen esencialmente fotoquímico poseen máximos estivales y mínimos invernales, debido a un incremento de la radiación solar durante el verano, y siguiendo un comportamiento general de la gran mayoría de las estaciones urbanas (GANGOITI *et al.*, 2002). Las concentraciones de monóxido de carbono y partículas son máximas en invierno, probablemente en relación con las mayores tasas de emisión procedentes de las actividades humanas, el menor espesor de la capa de mezcla y la mayor frecuencia de situaciones meteorológicas desfavorables a la ventilación de las capas bajas de la atmósfera (Fig. 4).

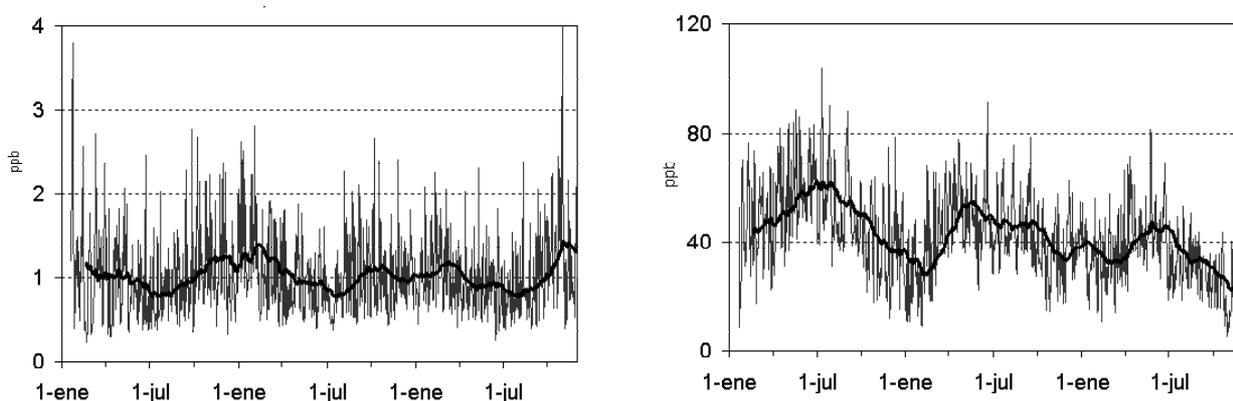


Fig. 4. Ciclos estacionales de las concentraciones de CO (izquierda) y O<sub>3</sub> (derecha)  
(Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CIMA)

El ciclo semanal fue suprimido aplicando un factor de corrección que corresponde a la diferencia entre la concentración media diaria para cada contaminante en cada día de la semana con respecto al promedio semanal. Por su parte, el ciclo estacional ha sido suavizado mediante la aplicación de una media móvil durante un intervalo de 13 días a los valores diarios corregidos (FERNÁNDEZ GARCÍA y RASILLA, 1999). Idéntico procedimiento fue seguido en el caso de aquellas variables atmosféricas que muestran también variaciones estacionales (por ejemplo, temperatura, insolación).

### 3. CARACTERÍSTICAS ATMOSFÉRICAS ASOCIADAS A LOS TIPOS DE CIRCULACIÓN

Debido a su localización en la fachada septentrional de la Península Ibérica, las condiciones climáticas en el área de la bahía de Santander son oceánicas, caracterizadas por pequeñas amplitudes térmicas, elevada humedad ambiental, abundante nubosidad, precipitaciones importantes y vientos frecuentes. No obstante, la circulación atmosférica es responsable de ambientes o tipos de tiempo con características bastante contrastadas (Figs. 5 y 6).

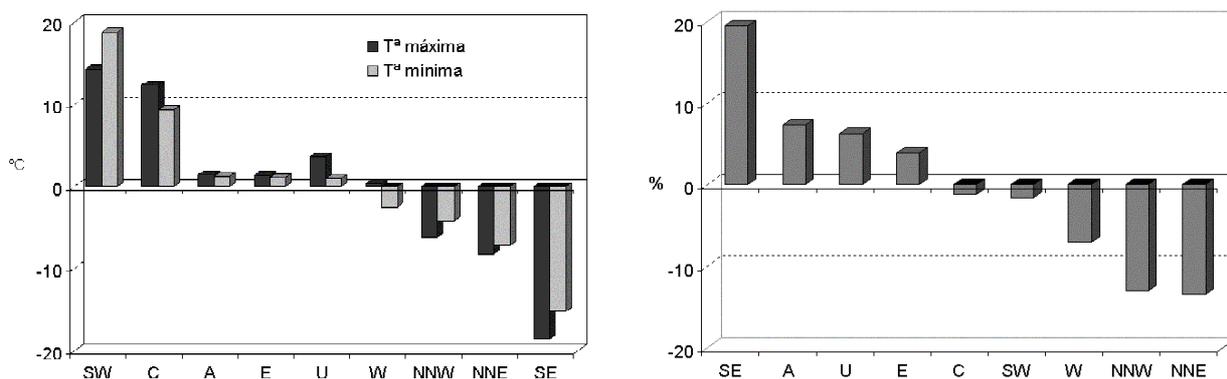


Fig. 5. Desviación de las temperaturas máximas y mínimas diarias (izquierda, en décimas de °C) y de la insolación (derecha, en % de insolación) con respecto al promedio móvil de 13 días, por tipos de circulación atmosférica (Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INM)

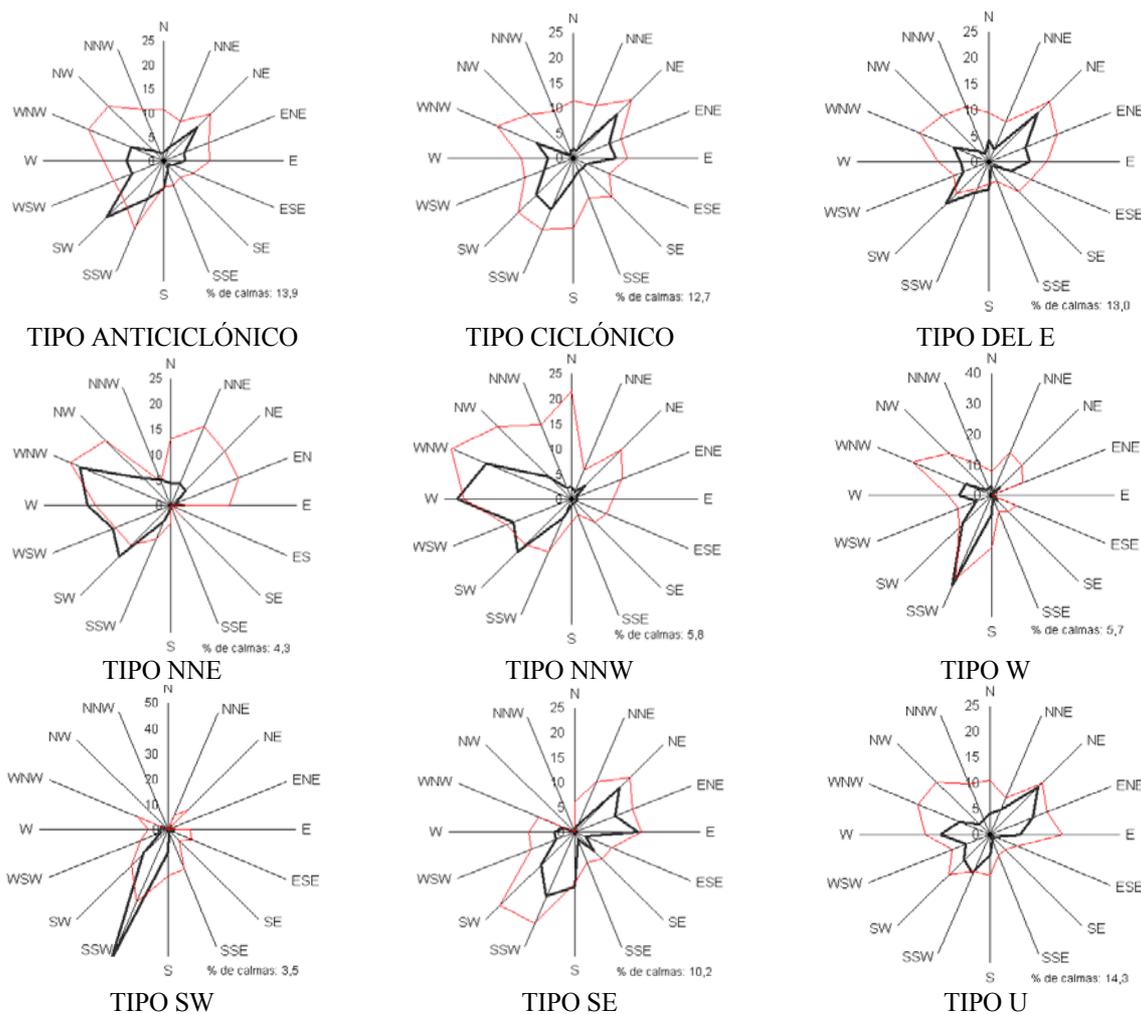


Fig. 6. Vientos en superficie según tipos de circulación. La línea de trazado grueso representa la frecuencia (en %), y la de trazado fino, la velocidad media (en km/h) (Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INM)

Los tipos del este (E) y los anticiclónicos (A) proporcionan días cálidos, con cielos poco nubosos y una elevada insolación; los vientos son suaves (alto porcentaje de calmas), sometidos a un típico régimen de brisas costero: predominio del primer cuadrante durante el día y del tercero durante la noche. Las circulaciones Ciclónicas (C), del Sureste (SE), del Oeste (W) y del Suroeste (SW) se caracterizan por ambientes templados o cálidos, en virtud de la advección de masas atlánticas modificadas por efecto föhn; la insolación es moderada, al igual que la precipitación, y debido a los acusados gradientes de presión, los vientos son fuertes, predominando el tercer cuadrante. Finalmente, el tercer grupo lo constituyen los tipos de circulación del Nornoroeste (NNW) y Nornoreste (NNE); en estos casos, la advección de masas de aire septentrionales, de origen atlántico o continental, da lugar a un descenso de las temperaturas y originan cielos nubosos o cubiertos y chubascos.

#### 4. RELACIONES ENTRE TIPOS DE CIRCULACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES

##### 4.1. Características generales

Las concentraciones diarias de los contaminantes primarios aumentan bajo condiciones de estabilidad atmosférica (categorías sinópticas A y SE). La escasa intensidad de los vientos en superficie limita la capacidad de dispersión en el plano horizontal de la atmósfera; por otro lado, la subsidencia desde la Troposfera genera inversiones dinámicas que dificultan la dispersión vertical de los contaminantes.

Por el contrario, bajo condiciones de inestabilidad las concentraciones se reducen significativamente. Dentro de este conjunto distinguiremos dos conjuntos. Por un lado, las que combinan una buena capacidad de dispersión horizontal, debido al fuerte viento, con una limitada capacidad vertical, debido a inversiones dinámicas en el margen oriental de las vaguadas en altura (tipos sinópticos del W y SW). Por el contrario, las circulaciones del NNE y NNW contribuyen a la mayor reducción de los niveles de contaminación, debido a los fuertes vientos y al lavado de la atmósfera por los chubascos.

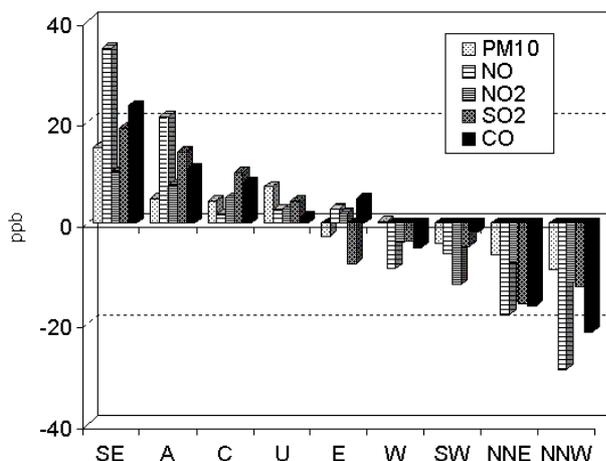


Fig. 7. Desviación con respecto a la media (suavizada) de la concentración de distintos contaminantes primarios, según el tipo de circulación atmosférica (Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CIMA)

Otro conjunto de situaciones no muestran una correspondencia tan clara con los niveles de contaminación diarios (las del E, C e indeterminadas). En el caso de las primeras, las inversiones dinámicas invernales, en condiciones de calma o vientos débiles, pueden elevar puntualmente la concentración de los contaminantes primarios, mientras en verano, gracias a la frecuencia e intensidad de las brisas, aumenta su capacidad de dispersión de los contaminantes en la horizontal (Fig. 7).

El ozono muestra un comportamiento singular, en gran parte relacionado con su carácter de contaminante secundario. Las circulaciones favorables a su incremento son las del NNW, NNE, SW y W (Fig. 8), situaciones de tiempo perturbado que alcanzan la Península Ibérica bajo ondulaciones del *Jet Stream*. Las situaciones estables, particularmente las del E, SE y Anticiclónicas favorecen el descenso de los niveles de ozono (aunque al cabo de un par de días sí se aprecia un ligero aumento del ozono, posiblemente por la abundancia de contaminantes primarios).

Aunque el estado actual de nuestras investigaciones nos induce a la cautela, probablemente el origen de la elevación relativa de los niveles elevados de ozono en el ámbito estudiado esté vinculado a su transporte desde otros puntos o a intrusiones de aire estratosférico, rico en ozono (COMRIE, 1990; ALONSO *et al.*, 2000; GANGOITI *et al.*, 2002), pasando los procesos fotoquímicos “autóctonos” a desempeñar un papel secundario, si bien para su concreción es claramente necesario la incorporación de análisis más detallados. En este sentido, la ubicación costera de la región y la proximidad a la Cordillera Cantábrica proporciona a las situaciones estables rasgos singulares, como una insolación moderada (no es infrecuente que el cielo esté parcialmente cubierto de estratocúmulos o altocúmulos), las temperaturas son suaves, incluso en verano, y salvo en invierno, las brisas facilitan la mezcla horizontal y vertical, condiciones ambientales todas ellas poco favorables a las reacciones que producen ozono fotoquímico.

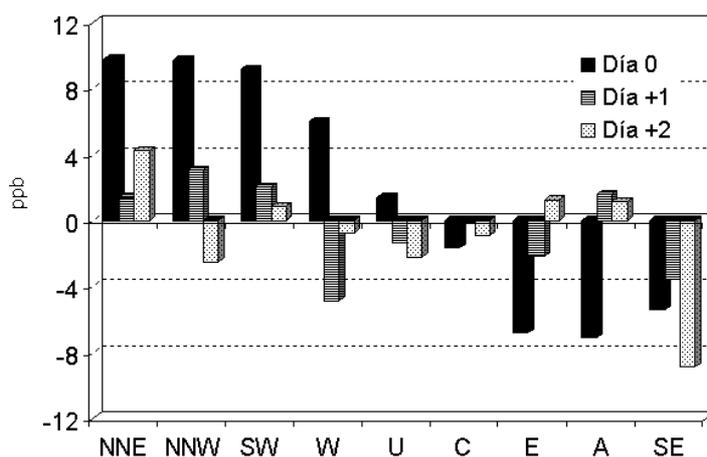


Fig. 8. Desviación de la concentración de ozono respecto a la media, según el tipo de circulación atmosférica (Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CIMA)

#### 4.2. Episodios de concentraciones máximas de ozono

Un análisis de algunos ejemplos puede ilustrar los mecanismos de génesis de los niveles elevados de ozono. El que se desarrolló entre los días 20/24-4 del 2000 fue el de mayor duración (5 días

consecutivos por encima del valor del percentil 95 de toda la serie utilizada). Corresponde a una circulación perturbada, iniciada el día 29 con la instalación de un flujo del W, que se convirtió en NNW el día 22 como consecuencia de la aproximación de una vaguada a 500 hPa y un frente frío. Tras el paso de este último, la situación evolucionó hacia un tipo anticiclónico (dorsal barométrica con ascenso de presión en superficie, pero descenso del espesor de la topografía de 500/1000 hPa), para dar paso a una nueva situación del W. Como consecuencia de ello, alternaron jornadas templadas, con precipitaciones moderadas, vientos dominantes del 3<sup>er</sup> y 4<sup>o</sup> cuadrantes y cielos bastante nubosos. Los valores de ozono alcanzaron un máximo el día 22, coincidiendo con el paso del frente frío y la vaguada en altura, aunque la tendencia creciente comenzó el día 20. Por lo tanto, es posible que sobre un incremento resultado de la llegada de una masa de aire enriquecida en ozono procedentes de fuentes alejadas de Cantabria se haya superpuesto un pico vinculado al paso del frente frío.

Tabla 1. Evolución de la concentración de ozono (promedio del área de la bahía de Santander) y de las condiciones meteorológicas (Aeropuerto de Parayas) entre los días 19 y 25 de abril de 2000

Día	O <sub>3</sub>	Tem máx/mín	Insol	Presión/Espesor	Viento (horas)				
					1C	2C	3C	4C	cal
19	44,0	19,0/5,8	48	1017 / 5514	93	44	63	10	30
20	70,9	16,9/4,2	47	1015 / 5554	48	35	132	25	0
21	72,6	11,2/7,4	51	1016 / 5540	23	28	163	18	8
22	76,1	18,3/14,0	14	1015 / 5504	78	25	90	37	10
23	71,0	18,7/11,5	76	1022 / 5379	0	22	126	90	2
24	74,3	19,5/14,4	18	1015 / 5508	5	18	207	3	7
25	57,4	29,0/16,4	18	1011 / 5514	53	37	103	43	4

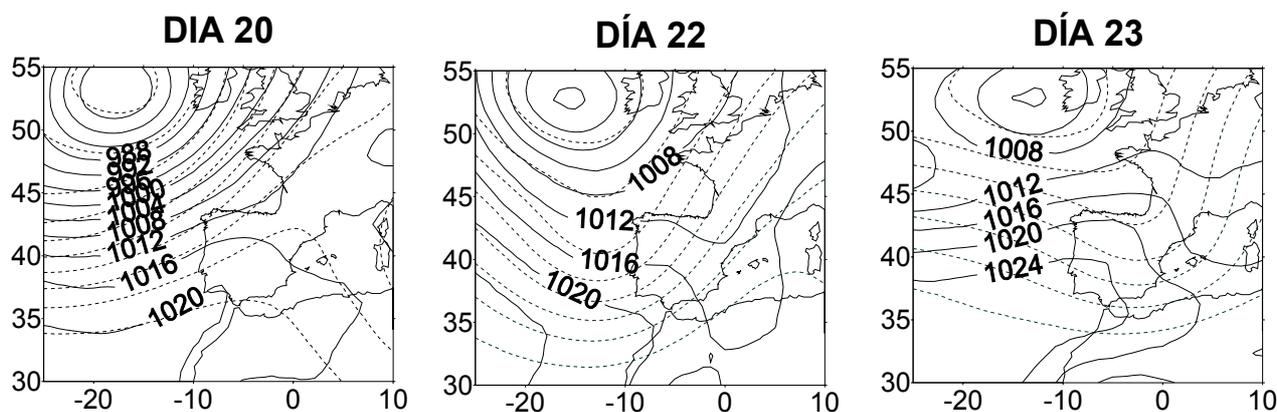


Fig. 9. Evolución de la circulación atmosférica en superficie (líneas continuas) y altura (línea discontinua) entre los días 20 y 24 de abril de 2000

Un origen más complicado posee el episodio ocurrido entre el 16 y el 20 de junio de 2000. Corresponde a una circulación en superficie poco definida, protagonizada en altura por el lento desplazamiento de una dorsal hacia Europa Central. Como consecuencia de ello predominaron los flujos suaves de componente S y SE, que propiciaron cielos prácticamente despejados, temperaturas relativamente frescas (masa continental desnaturalizada) y un régimen de brisas durante los días 16 y

17, rolando el viento hacia el 3<sup>er</sup> y 4<sup>o</sup> cuadrantes el 18, día en el que se registraron los niveles más elevados. El tipo de tiempo predominante hace pensar en un proceso fundamentalmente fotoquímico como origen de estos niveles elevados de contaminación por ozono.

Tabla 2. Evolución de la concentración de ozono (promedio del área de la bahía de Santander) y de las condiciones meteorológicas (Aeropuerto de Parayas) durante los días 16/20-6-2000

Día	O <sub>3</sub>	Tem máx/mín	Insol	Presión/Espesor	Vientos (horas)				
					1C	2C	3C	4C	cal
16	62,7	14,3/9,8	86	1019/5694	123	55	22	10	30
17	66,8	13,0/4,4	90	1017/5708	123	55	33	3	26
18	85,2	16,2/10,6	90	1019/5711	10	28	106	86	10
19	72,1	14,2/5,8	59	1020/5688	57	5	62	68	48
20	59,0	15,4/6,4	30	1018/5660	145	5	55	17	18

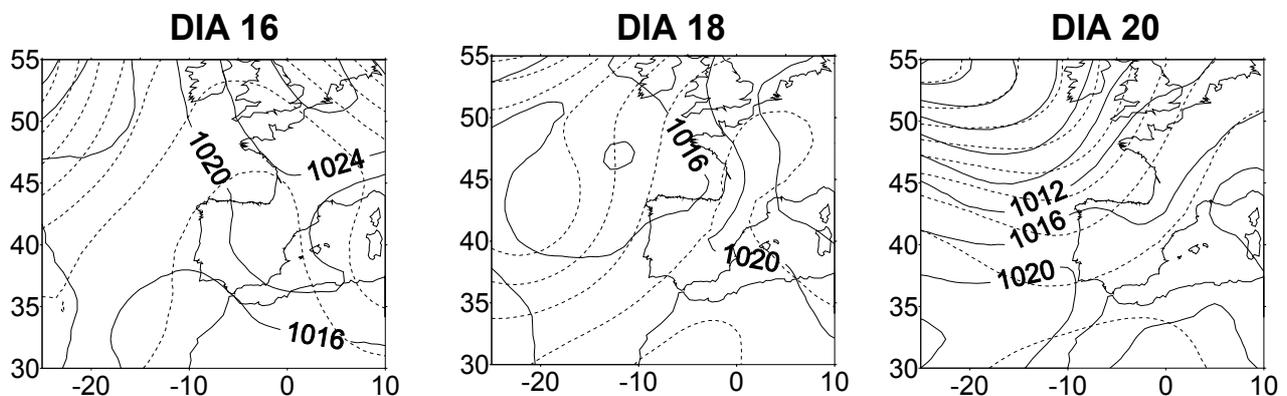


Fig.10. Evolución de la circulación atmosférica en superficie (líneas continuas) y altura (línea discontinua) entre los días 16 y 20 de junio de 2000

## 5. CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados obtenidos en este estudio inicial sobre la contaminación en la bahía de Santander muestran que comparte con otros puntos de la Península Ibérica los mecanismos que favorecen el aumento de los contaminantes primarios; su originalidad radica en que, al no emitir un volumen de dichos compuestos elevado, y disfrutar de una constante ventilación atmosférica por su clima oceánico y localización costera, los máximos de ozono son el resultado de un proceso de transporte desde otras fuentes, o bien responde a intrusiones de aire estratosférico rico en ozono, con incrementos causados por circulaciones perturbadas y descensos en las estables.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Centro de Investigaciones Medioambientales (CIMA) la cesión de los datos que han servido para la elaboración de esta comunicación.

## 7. REFERENCIAS

- COMRIE, A.C. (1990). "The climatology of surface ozone in rural areas: a conceptual model". *Prog. Phys. Geog.*, 14, pp. 295-316.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. y RASILLA, D (1999). "Concentraciones de ozono y tipos de tiempo en el Área Metropolitana de Madrid". *VIII Coloquio Ibérico de Geografía*, vol 1, Lisboa, pp. 31-36.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. *et al.* (2002). "Situations meteorologiques et pollution atmospherique a Madrid, Espagne". Dans : *Climat et environnement. L'information climatique au service de la gestion de l'environnement*. AIC, vol. 14, pp. 123-128.
- GANGOITI G. *et al.* (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. 1349-1361.
- McKENDRY, I.G. (1994). "Synoptic circulation and Summertime Ground-Level Ozone Concentrations at Vancouver, British Columbia". *J. App. Meteorol.*, 33, pp. 627-641.
- O'HARE, G.P. and WILBY, R. (1995). "A review of Ozone Pollution in the United Kingdom and Ireland with an analysis using Lamb Weather Types". *The Geographical Journal*, 161-1, pp. 1-20.
- SÁNCHEZ, M.L. *et al.* (1990). "Forecasting particulate pollutant concentrations in a city from meteorological variables and regional weather patterns". *Atm. Environm.*, 6, pp. 1509-1519.
- YARNAL, B. (1993). *Synoptic climatology in Environmental Analysis*. Studies in Climatology Series, Belhaven Press, London, 195 pp.
- ALONSO, L. *et al.* (2000). "Transport of Tropospheric Ozone over the Bay of Biscay and the Eastern Cantabrian Coast of Spain". *J. Appl. Meteor.*, 39, 4, pp. 475-486.