

CONCENTRACIONES DE OZONO TROPOSFÉRICO EN EXTREMADURA DURANTE LA OLA DE CALOR DEL 2003

Acero Díaz, F.J., Mateos Masa, V.L., García García, J.A., Núñez Corchero, M*
Dpto. de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Extremadura, Badajoz
***Centro Meteorológico Territorial en Extremadura, I.N.M.. Badajoz**
Tfno.: +34-924-289587. Fax: +34-924-289651
Correo electrónico: fjacero@unex.es

Resumen

Las altas temperaturas alcanzadas y mantenidas durante la ola de calor del verano de 2003 han propiciado unas concentraciones de ozono troposférico elevadas, que superan algunos de los niveles contemplados en las correspondientes normativas europeas. Se presentan los valores registrados en un emplazamiento rural en Extremadura, lejos de cualquier foco antrópico emisor de precursores de ozono.

Palabras clave

Ozono troposférico, contaminación atmosférica, ola de calor.

Summary

High temperatures reached and maintained during the heat wave of summer 2003 have favoured high concentrations of tropospheric ozone, that go beyond some levels provided for in the respective European Directives. The values recorded in a rural location in Extremadura, far from any human source issuing of ozone precursors are submitted.

Keywords

Tropospheric ozone, air pollution, heat wave.

1. INTRODUCCIÓN

El ozono troposférico es un constituyente atmosférico con la categoría de contaminante, al superar ciertas concentraciones. Cada vez se van conociendo mejor sus efectos nocivos sobre la vegetación y la salud humana. Así, en las instalaciones de medida de contaminación atmosférica, se registran datos de ozono, junto con los de otros agentes como óxidos de azufre, de nitrógeno o de carbono. En Europa, la Directiva 2002/3/CE relativa al ozono en el aire de espacios abiertos regula la fijación de objetivos de calidad del aire a largo plazo.

Hasta hace pocas décadas, se creía que todo el ozono troposférico provenía de la estratosfera, que sería la única región de la atmósfera donde se generaba ozono. Sin embargo, hoy día se conoce que más de la mitad del ozono troposférico se genera en la misma troposfera, mediante reacciones químicas, en las que juegan un papel determinante determinados precursores como óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (Sillman, 1999). También influyen la radiación solar y la temperatura. La mayor parte de los precursores tiene su origen en la actividad humana, siendo considerados contaminantes atmosféricos primarios, mientras que el ozono sería un contaminante secundario, pues depende de los anteriores. El problema de contaminación por ozono se creía, por tanto, que era exclusivo de aquellos emplazamientos con un elevado nivel de contaminantes primarios, como las grandes ciudades. Sin embargo, las corrientes atmosféricas facilitan el

desplazamiento a distancia (incluso transoceánica) de los precursores, por lo que es necesario considerar, además, la situación meteorológica, en aspectos tales como la radiación y temperatura y el régimen de vientos que presenta (Louka, 2003). Por tanto, zonas alejadas de los focos de contaminación atmosférica primaria, pero con elevados niveles de radiación y temperatura, pueden presentar unas altas concentraciones de ozono troposférico. Las elevadas temperaturas propician la formación de ozono troposférico al favorecer la cinética de las reacciones químicas y, de modo indirecto, al aumentar la generación de compuestos orgánicos volátiles de origen natural.

La Europa meridional, en general, y la región extremeña, en particular, tiene unos veranos que favorecen las condiciones meteorológicas antes señaladas (Pleijel, 2000). Además, dentro de esta estación, suelen presentarse episodios de “olas de calor”. Parece que una de las consecuencias de los cambios climáticos podría ser el aumento de este tipo de fenómenos meteorológicos adversos. Al analizar los efectos de una “ola de calor” no se suele caer en la cuenta de las consecuencias secundarias asociadas a un incremento en las concentraciones de ozono troposférico. Además de daños en la vegetación y la consiguiente disminución en el rendimiento de los cultivos, el ozono reacciona con las moléculas de las paredes de las vías respiratorias, ocasionando una inflamación aguda. Así, desencadena asma y puede agravar otras enfermedades respiratorias, como neumonía y bronquitis. Estos efectos son más acusados en los niños.

Según una evaluación preliminar de la Agencia Europea de Medio Ambiente, la contaminación por ozono fue este verano del 2003 la peor de casi una década en grandes zonas de Europa, en particular durante la larga ola de calor que nos azotó el mes de agosto.

Este trabajo analiza las concentraciones de ozono troposférico registradas durante la ola de calor del verano de 2003 en un emplazamiento rural del centro de Extremadura. Esta ola de calor se ha caracterizado por su gran persistencia en temperaturas altas y ha superado, además, las efemérides de muchos observatorios, como el de Badajoz, que registró 44.8 °C de máxima el 1 de Agosto. El grupo de investigación de Física de la Atmósfera de la Universidad de Extremadura tenía instalado desde comienzos del verano un analizador de ozono, que ha permitido registrar, en particular, las concentraciones de ozono en el citado episodio. Su análisis constituye el objetivo de este trabajo.

2. DATOS ANALIZADOS

2.1 Equipo de medida y emplazamiento

Para determinar la concentración de ozono disponemos de un analizador de ozono DASIBI que emplea el método de absorción ultravioleta. Los valores de la concentración de ozono han sido registrados en promedios evaluados cada 15 minutos durante el período de estudio del 1 al 15 de agosto de 2003. Aunque la ola de calor comienza en los últimos días de julio, un fallo en el analizador de ozono impidió disponer de los datos de estos días

El equipo de medida está situado en una dehesa extremeña formada por un bosque de encinas y situada a 39°N, 6°W y 307 metros de altitud. Este emplazamiento se encuentra próximo a la zona regable de la Comarca de las Vegas Altas del río Guadiana, comarca de agricultura intensiva, que concentra su actividad productiva en los meses de verano.

2.2 Valores de referencia

El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea adoptó la medida 2002/3/CE, publicada el 9 de marzo de 2002 en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas, relativa al ozono en el aire de espacios abiertos. Esta Directiva exige el establecimiento de valores objetivos y/o límites para el ozono para proteger la salud de las personas así como la vegetación. Igualmente establece que debe fijarse un umbral de alerta respecto al ozono para la protección de la población en general. Para proteger a sus grupos más vulnerables debe establecerse un umbral de información. Además debe ponerse periódicamente a disposición de la población información actualizada sobre las concentraciones de ozono en el aire de espacios abiertos. Esta Directiva, que entró en vigor en Septiembre de 2003, es la que hemos usado para considerar los valores de referencia de este trabajo.

	Parámetro	Valor objetivo para 2010
Valor objetivo para la protección de la salud humana	Máximo de las medias octohorarias del día de las concentraciones de ozono.	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que no deberá superarse más de 25 ocasiones por cada año civil de promedio en un período de 3 años.
Valor objetivo para la protección de la vegetación	AOT40, calculada a partir de valores horarios de mayo a julio.	18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ de promedio en un período de 5 años.
Umbral de información	Promedio horario	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Umbral de alerta	Umbral de alerta	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla 1.- Valores objetivos y umbrales que marca la Directiva 2002/3/CE relativa al ozono en el aire de espacios abiertos.

2.3 Análisis de los valores obtenidos

Hemos comprobado si las concentraciones de ozono obtenidas en nuestro emplazamiento cumplen dicha normativa. En primer lugar estudiamos el valor objetivo para la protección de la salud humana. A partir de los datos calculamos el máximo de los promedios octohorarios correspondiente a cada día. En la figura 1 se muestran estos máximos diarios y con una línea horizontal se representa el valor objetivo para la protección de la salud humana. Se comprueba que todos los días, salvo el último, este valor ha sido superado, incluso en algunos días hasta en un 50 % por encima del valor establecido.

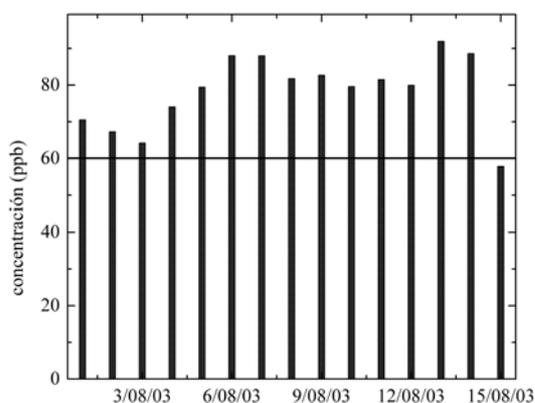


Figura 1.- Máximo diario de la media octohoraria de la concentración de ozono

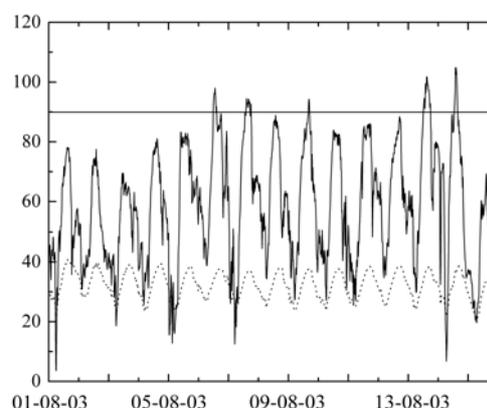


Figura 2.- Concentración de ozono (línea continua) y temperatura (línea discontinua)

También hemos estudiado el umbral de información a la población establecido en 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se detectan 16 ocasiones en que es superado este umbral, según se recoge en la tabla 2. En la figura 2 se observa la evolución de la concentración de ozono a lo largo de la quincena y con línea horizontal se indica el umbral de información a la población.

Día de superación	Hora de superación	Concentración (ppb)
06-08	12:00	95.03
	13:00	96.17
	14:00	90.06
07-08	14:00	92.77
	15:00	92.36
	16:00	93.67
	17:00	91.05
09-08	16:00	92.56
13-08	12:00	92.87
	13:00	95.12
	14:00	99.76
	15:00	99.26
	16:00	96.41
	17:00	90.68
14-08	13:00	99.30
	14:00	102.73

Tabla 2.- Días y horas de superación del umbral de información a la población.

Como el ozono se forma bajo la influencia de la luz solar, estos días han sido muy favorables para la formación de ozono. Esto nos ha llevado a estudiar la correlación entre la concentración de ozono y otras dos variables proporcionadas por una estación meteorológica automática instalada en el mismo emplazamiento que el analizador. Las variables consideradas han sido temperatura y radiación solar (ver figuras 3 y 4). Los coeficientes de correlación obtenidos fueron:

• Radiación solar: $R^2=0.439$

• Temperatura: $R^2=0.603$

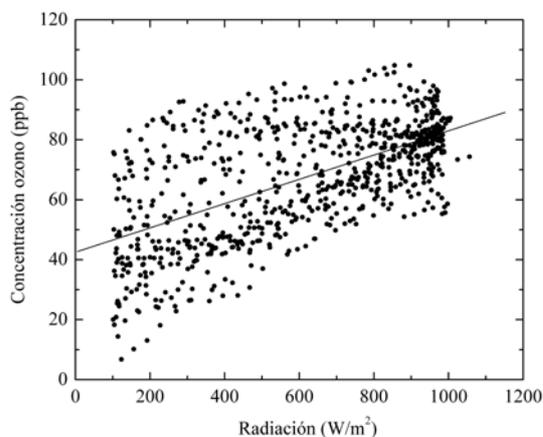


Figura 3. Correlación entre la concentración de ozono y la radiación solar.

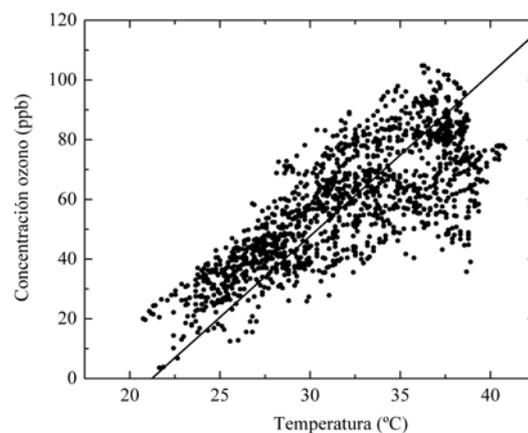


Figura4. Correlación entre la concentración de ozono y la temperatura del aire.

La temperatura del aire y la radiación solar están relacionadas entre sí y esto puede enmascarar la relación entre el ozono y alguna de ellas. Para analizar esto hemos calculado las correlaciones parciales, obteniendo los siguientes resultados:

- Ozono - Temperatura: 0.692
- Ozono – Radiación: 0.513

Estos resultados descartan que la correlación entre el ozono y la temperatura venga inducida por la correlación entre la concentración de ozono y la radiación, siendo mayor la influencia de la temperatura.

Para comparar los datos de la concentración de ozono registrados por nuestro analizador con otros procedentes de la región extremeña recurrimos a una estación de los programas EMEP (European Monitoring Evaluation Programme) y CAMP (Comprehensive Atmospheric Monitoring Programme) que la Red Española de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica residual o de fondo tiene situada en las proximidades de la localidad de Barcarrota (Badajoz). A partir de los valores horarios de la concentración de ozono registrados en la estación de Barcarrota realizamos las mismas operaciones para comprobar si se cumple la Directiva Europea relativa al ozono. En cuanto al valor objetivo para la protección de la salud humana obtenemos que se ha superado en todos los días excepto el 1, 4 y 15 de agosto. En general, aunque se trata de valores especialmente altos (el máximo es de $180.4 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cong 90.2 \text{ ppb}$), los valores registrados en Barcarrota son ligeramente inferiores a los registrados en nuestro emplazamiento. Por lo que se refiere al umbral de información a la población, sólo es superado en una ocasión (día 11 de agosto) frente a las 16 ocasiones en que ha sido superado en nuestro emplazamiento.

Disponemos también de las concentraciones de ozono registradas en la estación EMEP de Barcarrota durante los tres veranos anteriores (años 2000, 2001 y 2002) y en ninguna ocasión han sido superados los $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecidos como umbral de información a la población. En estos años los máximos alcanzados fueron:

- Año 2000: $161 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 9 de agosto.
- Año 2001: $153 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 22 de junio.
- Año 2002: $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 29 de agosto.

En consecuencia, las concentraciones de ozono alcanzadas durante la ola de calor del verano del 2003 han superado los niveles máximos registrados en Extremadura, si bien con la cautela que impone el que los registros más antiguos sean los de Barcarrota y éstos apenas alcancen 3 años de duración.

El hecho de que los valores registrados en Barcarrota sean ligeramente inferiores a los registrados en nuestro emplazamiento podría deberse a la proximidad de este último a una zona de agricultura intensiva en la que se emplean abundantes abonos nitrogenados durante las campañas de riego, que se encuentran en plena actividad en las fechas en que se registraron los valores de ozono. La abundante fertilización del suelo es causa de un incremento en los óxidos de nitrógeno (Li, 1999), que actúan como precursores del ozono.

3. SITUACIÓN METEOROLÓGICA

3.1 Ola de calor.

Según el Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos (PNPVFMA), el Instituto Nacional de Meteorología elaborará y difundirá avisos meteorológicos cuando se observen o prevean fenómenos meteorológicos que puedan superar determinados valores preestablecidos, cada uno de ellos, en una zona geográfica definida.

Debido a las diferentes características de cada fenómeno meteorológico, así como a su distinta incidencia o frecuencia en cada zona geográfica, se han definido umbrales distintos para cada una de estas zonas. Así para la Comunidad Autónoma de Extremadura se dirá que sucede una Ola de Calor cuando se produzca, o se prevea que se va a producir, uno de los siguientes sucesos:

- Ascenso de las temperaturas máximas de al menos 4°C en 24 horas, alcanzándose una temperatura máxima igual o superior a 40°C
- Temperatura máxima superior a 42°C durante dos días o más
- Temperatura mínima igual o superior a 24°C durante dos días o más

Atendiendo a esta definición de ola de calor, consideramos los datos de las estaciones de referencia del CMT en Extremadura, lo que nos permite concluir que:

- 1) Las temperaturas mínimas fueron superiores al umbral establecido (temperatura mínima igual o superior a 24°C durante dos días o más), durante los 16 días comprendidos entre el 30 de julio y el 14 de agosto, y por lo tanto, según este criterio de temperaturas mínimas, durante el citado periodo se produjo el fenómeno meteorológico adverso de ola de calor. Éste es el episodio de mayor duración de una racha de temperaturas superiores a 40 °C registrado en el observatorio de Badajoz. El anterior episodio de estas características ocurrió entre el 12 y el 19 de julio de 1991 y su duración fue de 8 días

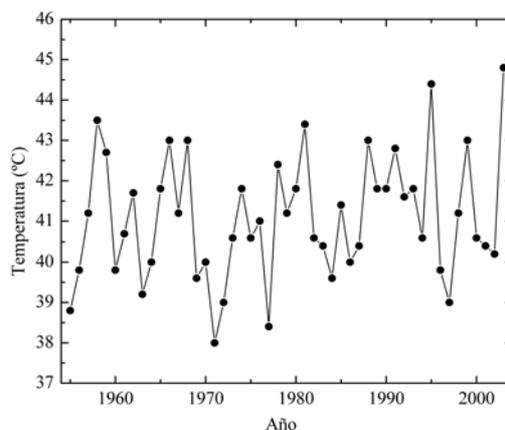


Figura 5.- Temperaturas máximas absolutas anuales observatorio de Badajoz/Talavera

- 2) El criterio de temperatura máxima superior a 42°C durante dos días o más se superó los días comprendidos entre el 30 de julio y el 5 de agosto, y desde el 9 al 13 de agosto, y por lo tanto, según este criterio de temperaturas máximas, durante el citado

periodo se produjo el fenómeno meteorológico adverso de ola de calor. Durante los días 31 de julio y 2 de agosto se registraron temperaturas máximas superiores a 43 °C en el Observatorio de Badajoz, lo cual constituye el único episodio de temperaturas máximas diarias superiores a dicho umbral en el periodo de observación de dicha estación que abarca casi 50 años (1955-2003).

Estos datos justifican el periodo de estudio de este trabajo, comprendido entre los días 1 y 15 de agosto de 2003.

3.2. Descripción de la situación meteorológica

3.2.1. Niveles altos

En los niveles altos y medios de la atmósfera (300 y 500 hPa), durante la segunda mitad del mes de julio predomina la circulación zonal acompañada a veces con una baja. A partir del día 1 de agosto y hasta el día 15, se sitúa sobre la Península Ibérica, una dorsal cálida de bloqueo.

3.2.2. Nivel de 850 mb

En el nivel de 850 mb, durante la segunda mitad del mes de julio, el anticiclón de las Azores ejerce continuamente su influencia sobre la Península Ibérica. A partir del día 1 de agosto, el anticiclón se sitúa sobre la Península Ibérica y su posición permanece más o menos constante hasta el día 7, día en el que un centro de bajas presiones se coloca sobre el Golfo de Cádiz. Los días 8 y 9 de agosto, de nuevo el anticiclón atlántico se acerca a la Península Ibérica, posteriormente se mueve hacia el oeste para dejar paso, el día 10 a un centro de bajas presiones que se sitúa sobre Lisboa. Los días posteriores 11, 12 y 13 el anticiclón se coloca sobre la Península Ibérica, y en los últimos días del periodo en estudio, 14, 15 y 16 de agosto, la situación se puede calificar como de pantano barométrico aunque con predominio de las presiones altas.

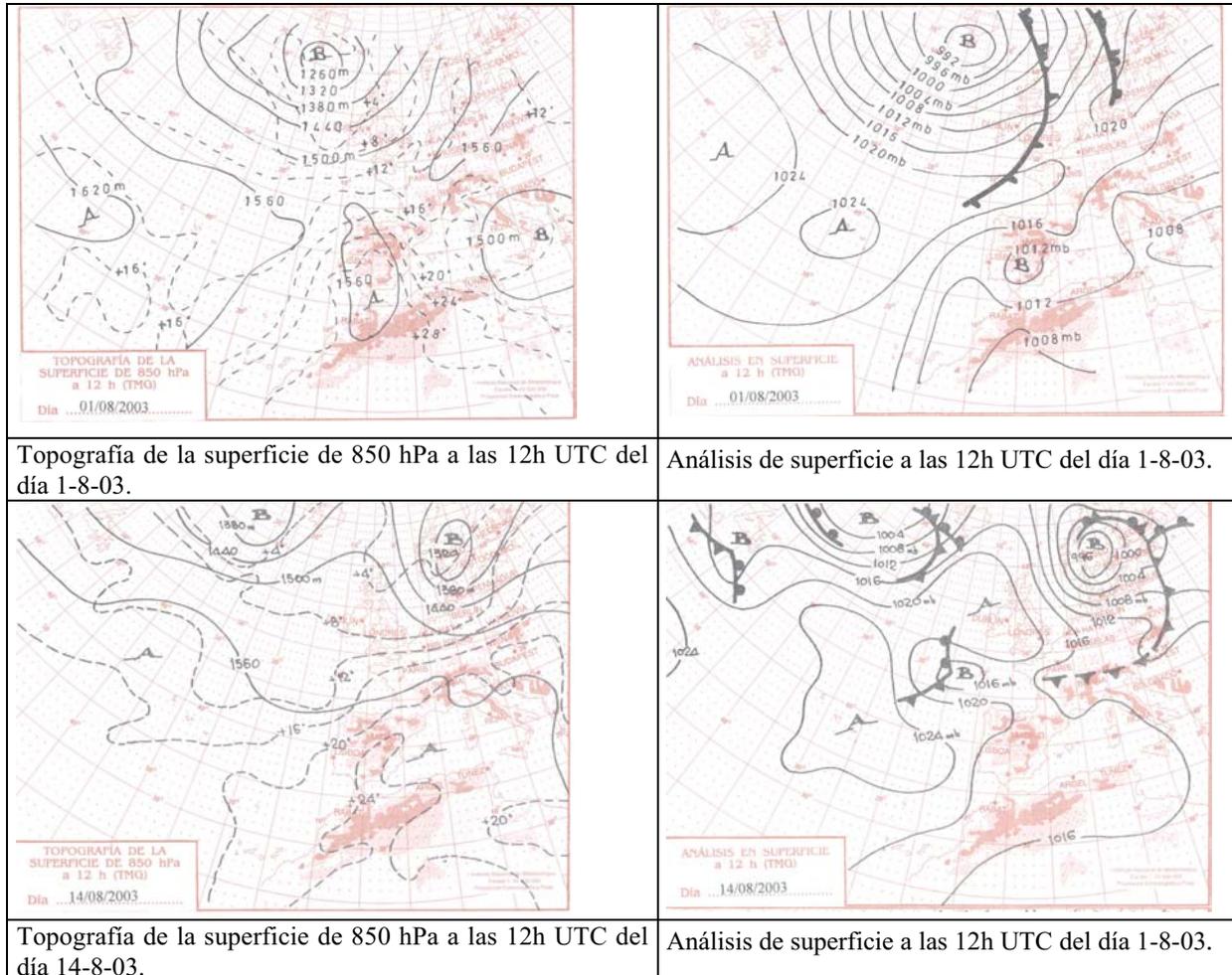
3.2.3. Niveles bajos

En los niveles bajos de la atmósfera (superficie), durante la mayor parte del periodo en estudio la situación meteorológica viene determinada por la acción del anticiclón atlántico, o anticiclón de las Azores.

Hasta la segunda mitad de agosto sobre la Península Ibérica predomina una situación de bajo gradiente de presión (pantano barométrico) a la cual acompaña diariamente una baja relativa de origen térmico que provoca los fenómenos tormentosos y la advección de aire norteafricano. Situación que se repitió casi exactamente en los primeros 13 días del mes.

Con esta situación, a la que se añadió una invasión de aire del Sahara, influenciada por la baja térmica en superficie, se produjeron en casi todas las estaciones de la Región el registro de las mayores temperaturas máximas absolutas en todo el periodo de medida.

A partir del día 14 el anticiclón se desplaza hacia el suroeste y una borrasca atlántica situada al noroeste de Galicia, se dirige hacia la Península Ibérica. El día 15 ha alcanzado las costas del levante español y un frente asociado a ella cruza la Península. Con ella se dio por finalizado este episodio.



3.3 Trayectorias.

A partir de los mapas de la superficie de 850 mb, se ha realizado un análisis de las trayectorias, cuyo resumen puede ser el que sigue:

En general, hay que decir que las trayectorias no son muy marcadas pues el periodo se caracterizó por vientos flojos y variables sobre la Península, pero analizando con un poco más de detalle podemos ver que:

Durante los días del 1 al 12, la situación general fue de vientos dominantes flojos de sur o suroeste, que propiciaron la invasión de aire norteafricano que, al llegar a la Península Ibérica, provocaron ambiente extremadamente seco y temperaturas elevadas.

A partir del día 13 y hasta el día 15, la situación se caracterizó por vientos en calma, una situación de estancamiento, con vientos flojos del oeste en ocasiones.

4. CONCLUSIONES.

Se ha comprobado que todos los días, a excepción del último, de la quincena motivo de nuestro estudio, ha sido superado el valor objetivo para la protección de la salud humana establecido en $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En algunos días este umbral ha sido superado hasta en un 50%. Del mismo modo, también se ha superado el umbral de información a la población durante los días 6, 7, 9, 13 y 14 de agosto. La duración media de los episodios de superación del umbral de información a la población fue de 3.2 horas frente a las 2.5 horas registradas en el período comprendido entre abril y agosto del año 2003 en el conjunto del territorio español, según aparece en el informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente sobre la contaminación por ozono en Europa en el verano del 2003.

Se ha concluido que hay una relación directa entre temperatura y producción de ozono.. Para ilustrar esta idea, hemos calculado el promedio de la temperatura y de la concentración de ozono para el período comprendido entre el 10 de junio y el 10 de julio del mismo año en el mismo emplazamiento. Resultan ser $26.3 \text{ }^\circ\text{C}$ la temperatura y 49.4 ppb la concentración promedio de ozono. En cambio, en la quincena motivo de nuestro estudio estos valores son de $31.9 \text{ }^\circ\text{C}$ y 58.3 ppb .

Durante la intensa ola de calor que afectó a Extremadura en los meses de julio y agosto de 2003, se alcanzaron registros históricos de temperatura. El periodo en el que se registraron los datos más excepcionales de temperaturas máximas es el comprendido entre el 29 de julio y el 14 de agosto. Aunque no se disponen de registros históricos de concentraciones de ozono troposférico en Extremadura, cabe suponer que este episodio de ola de calor que superó los registros históricos de temperatura, ha ido acompañado de unos niveles máximos en las concentraciones de ozono troposférico.

Pero no sólo la temperatura influye en el incremento de la concentración de ozono. También el régimen de vientos y el efecto combinado de estos dos factores son responsables de estos incrementos. En situaciones en que la temperatura es muy elevada y se produce además una situación de pantano barométrico, se produce un estancamiento del aire en la Península Ibérica de forma que no hay renovación de las masas de aire. Esta situación provoca a su vez el incremento en la concentración de ozono troposférico, como del resto de los contaminantes atmosféricos. Por eso, las máximas concentraciones de ozono no coinciden en el tiempo con los máximos de temperatura registrados, sino que parecen coincidir con los días en los que la situación meteorológica provoca la casi nula renovación de aire en la baja troposfera

Comparando los datos registrados en nuestro emplazamiento con los valores medidos en la estación de Barcarrota (Badajoz) de la red EMEP, concluimos que la concentración de ozono medida por nuestra estación es mayor. Los promedios de ambas estaciones son de 58.3 ppb en nuestro emplazamiento y de 50.1 ppb en Barcarrota. Este hecho puede ser debido a la situación de nuestro emplazamiento próximo a una zona de agricultura intensiva en plena actividad en las fechas de registro de datos de concentraciones. La abundante fertilización del suelo es causa de un incremento en los óxidos de nitrógeno, que actúan como precursores del ozono.

5. ESCENARIOS DE FUTURO.

Efectos sobre la salud humana.

Los episodios de contaminación por ozono troposférico tienen incidencia sobre la salud. Por ello, a la hora de considerar las repercusiones en la población de una ola de calor, habría que tener en cuenta los efectos secundarios asociados a las altas concentraciones de ozono que se registran en las olas de calor.

Necesidad de una red de medida.

Para controlar los niveles de contaminación de la atmósfera y proteger la calidad del aire, es necesaria en Extremadura una red de control de la calidad del aire que combine la vigilancia y la planificación con una adecuada información al ciudadano. Aunque nuestro trabajo está centrado en el caso del ozono, es necesario medir también los precursores de la formación del ozono así como otros contaminantes.

Impactos de los cambios climáticos

Hemos comprobado que los umbrales de información y alerta sobre las concentraciones de ozono troposférico se superan ampliamente en situaciones de temperaturas elevadas. Según los informes del IPCC una posible consecuencia del cambio climático podría ser el aumento de los episodios extremos, en particular, las olas de calor. Esto provocaría un incremento del número de episodios agudos de contaminación por ozono, aun cuando las políticas europeas están consiguiendo una reducción de sus precursores, de hasta el 30 % en la década de 1990.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Subdirección General de Calidad Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente, el suministro de los datos de la estación EMEP de Barcarrota.

6. REFERENCIAS

European Environment Agency.- Reports. Air Pollution by Ozone in Europe in summer 2003. (2003)

Li, Y., Viney P. Aneja, S. P. Arya, J. Rickman, J. Brittig, P. Roelle and D. S. Kim. Nitric oxide emission from intensively managed agricultural soil in North Caroline. Journal of Geophysical Research, 104, No D21, 26,115-26,123 (1999)

Louka, P., G. Finzi, M. Volta y I. Colbeck. Photochemical smog in South European cities. "Air Quality in cities", Nicolas Moussiopoulos, editor. Ed. Springer-Verlag, 2003

Pleijel, H. Ground-level ozone. A problem largely ignored in southern Europe. Air Pollution and Climate Series, N° 12, (2000)

Sillman, S., The relation between ozone, NO_x and hidrocarbons in urban and polluted rural environments. Atmospheric Environment, 33, 1821-1845 (1999).