

---

# *Estudio preliminar del comportamiento del ozono en las Palmas de Gran Canaria*

**Norberto Angulo Rodríguez<sup>(1)</sup>, Néstor Florido Suárez, J. Carmelo Quintana Suárez<sup>(1)</sup>,  
Antonio Pulido Alonso<sup>(1)</sup>, Concepción Ling Ling<sup>(2)</sup> y Antonio Vera Castellano\* <sup>(2)</sup>**  
Escuela Superior de Ingenieros Industriales y Civiles. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
<sup>(1)</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica <sup>(2)</sup> Departamento de Ingeniería de Procesos

---

*Preliminary study of the behavior of ozone in Las Palmas de Gran Canaria*

*Estudi preliminar del comportament de l'ozó a les Palmes de Gran Canària*

*Recibido: 27 de octubre de 2010; revisado: 2 de marzo de 2011; aceptado: 3 de marzo de 2011*

## **RESUMEN**

Se ha medido durante un año (enero-diciembre de 2007) las concentraciones medias horarias de ozono troposférico en una calle de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria caracterizada por estar sometida a un tráfico denso de vehículos a motor. Los niveles detectados (obtenidos en base al cálculo de la concentración máxima diaria de las medias octohorarias móviles) están por debajo de los límites fijados por la Directiva 2008/50 de la Unión Europea para la protección de la salud humana. En contra de lo que suele ser habitual, las concentraciones máximas no se han registrado durante los meses de verano sino a finales de año coincidiendo con la desaparición de los vientos alisios. Se ha encontrado un patrón diario bien definido, aunque el estudio del mismo día a día ha mostrado un incremento de las concentraciones los fines de semana. Un análisis de regresión lineal entre las concentraciones registradas los domingos y las obtenidas los días del interior de la semana (martes a jueves) revela un incremento los domingos cuantificado entre el 30 y el 40%. Los resultados obtenidos sugieren que Las Palmas de Gran Canaria es una ciudad en la que no sólo existe el efecto fin de semana sino que el mismo se debe a la combinación de sensibilidad de la atmósfera a los compuestos orgánicos volátiles (COV's) y descenso de las emisiones de NO<sub>x</sub> durante los sábados y domingos.

**Palabras clave:** Patrón diario de ozono; Las Palmas de Gran Canaria; Efecto fin de semana; Contaminación atmosférica; COV-sensible.

## **SUMMARY**

Hourly concentration averages of tropospheric ozone were measured, during the period from January 2007 to December 2007, in a street with a lot of traffic in Las Palmas de Gran Canaria. The values obtained, calculated by maximum daily concentration of every eight hours average, were below the limit value set by the European Union Directiva 2008/50 for the human being health protection. In opposite to usual, the maximum concentrations were registered at the end of the year, instead of in summer,

due to the seasonal trade winds didn't exist. A well defined daily standard was founded although it had shown and increased concentration during the weekends. A lineal regression analysis among the concentrations during Sundays and Tuesdays to Thursday presented an increase of 30% to 40%. Our results support the hypothesis that the weekend ozone effect is due to a combination of VOC sensitivity of the studied area and the reduced NO<sub>x</sub> emissions during Saturdays and Sundays.

**Keywords:** Diurnal ozone cycles; Las Palmas de Gran Canaria; Ozone weekend effect; Atmospheric pollution; VOCs-sensitive

## **RESUM**

Es mesuren durant un any (gener-desembre de 2007) les concentracions mitjanes horàries d'ozó troposfèric en un carrer de la ciutat de Las Palmas de Gran Canària caracteritzat per estar sotmès a un trànsit dens de vehicles de motor. Els nivells detectats (obtinguts sobre la base del càlcul de la concentració màxima diària de les mitjanes octohoràries mòbils) estan per sota dels límits fixats per la Directiva 2008/50 de la Unió Europea per a la protecció de la salut humana. En contra del que sol ser habitual, les concentracions màximes no s'han registrat durant els mesos d'estiu sinó a finals d'any coincidint amb la desaparició dels vents alis. Es troba un patró diari ben definit, encara que l'estudi del mateix dia a dia mostra un increment de les concentracions durant els caps de setmana. Una anàlisi de regressió lineal entre les concentracions registrades els diumenges i les obtingudes els dies d'entre setmana (dimarts a dijous) revela un increment els diumenges quantificat entre el 30 i el 40%. Els resultats obtinguts suggereixen que Las Palmas de Gran Canària és una ciutat en la qual no només existeix l'efecte cap de setmana sinó que aquest es deu a la combinació de la sensibilitat de l'atmosfera als compostos orgànics volàtils (COV's) i el descens de les emissions de NO<sub>x</sub> durant els dissabtes i diumenges.

**Mots clau:** Patró diari d'ozó, Las Palmas de Gran Canària, efecte cap de setmana, contaminació atmosfèrica, COV-sensible.

## 1. INTRODUCCIÓN

El ozono troposférico es de los contaminantes fotoquímicos el más significativo debido a su abundancia y sus efectos nocivos en los cultivos, en los ecosistemas y en el clima (1) (2). También presenta un carácter oxidante muy perjudicial para los seres vivos (3) (4). Por todo ello diversas reglamentaciones fijan valores máximos permisibles para el mismo. Concretamente, la Directiva 2008/50 de la Unión Europea marca un valor de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que no puede superarse más de 25 días (promediado en un período de tres años).

La ciudad de Las Palmas de Gran Canaria, la novena de España por número de habitantes (380.000), tiene en la circulación rodada la principal fuente emisora de contaminantes atmosféricos (solo en la autovía marítima que conecta la ciudad con el resto de la isla, circulan diariamente 70.000 vehículos). Las emisiones de estos vehículos se ven acrecentadas por las derivadas de la importante actividad antropogénica que se desarrolla en el Puerto de la Luz y de Las Palmas (de los primeros de España en carga y descarga de mercancías). Dichas emisiones introducen en la atmósfera de la ciudad óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles que con la ayuda de la luz solar generan ozono troposférico (5). Puesto que éste es un contaminante secundario, su velocidad de formación depende de la concentración de sus precursores: óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ ) y compuestos orgánicos volátiles (COV) emitidos directa y principalmente por los escapes de los vehículos motorizados.

La relación entre  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_x$  y COV representa uno de los principales retos científicos asociados con la contaminación atmosférica en núcleos urbanos. Por lo general se sabe que la misma se encuentra afectada por una fotoquímica compleja no lineal (6) que expresa un determinado régimen de sensibilidad de la propia atmósfera. En algunas condiciones el proceso de formación de ozono se encuentra controlado casi en su totalidad por los  $\text{NO}_x$  siendo en gran medida independiente de la presencia de COV, mientras que en otras el incremento en la producción de ozono se encuentra íntimamente relacionado con el aumento de la concentración atmosférica de COV, no aumentando (sino incluso disminuyendo a veces) con el incremento de los óxidos de nitrógeno.

El objetivo del presente trabajo ha sido el de determinar el comportamiento de este contaminante en la ciudad a fin de conocer entre otras cosas si en la atmósfera de la misma el ozono presenta uno de éstos regímenes de sensibilidad.

## 2. METODOLOGÍA

Los datos analizados han sido proporcionados por una estación de monitorización, situada en una zona: Mercado Central, figura 1, clasificada por su ubicación como de tráfico urbana, ya que prácticamente en ausencia de otras actividades industriales, las únicas emisiones antropogénicas de precursores de ozono en la misma son las generadas por los vehículos motorizados. La circulación es normalmente densa en casi todas las franjas horarias siendo muy densa en horas punta. A unos 250 metros de distancia (en línea recta) se encuentra la playa de las Alcaravanas, ubicada junto a la entrada del puerto marítimo de la ciudad. El recinto portuario se encuentra al noreste

de la estación y presenta una actividad importante: entrada y salida de buques, astilleros navales, carga y descarga de depósitos de combustibles, etc.



Figura 1. Situación de la estación de monitorización de ozono

La estación de medida está situada a 23 metros de altura. Las concentraciones de ozono se monitorizaron de forma continua durante un año (enero-diciembre de 2007) usando un equipo basado en la absorción de radiación ultravioleta por  $\text{O}_3$  a 254 nm como principio de medida.

Con el fin de evaluar la importancia de las emisiones locales de contaminantes gaseosos y su influencia en el comportamiento del ozono, se registraron también las concentraciones medias horarias de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ) y los valores medios diarios de algunas variables meteorológicas (velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar y humedad relativa). Las concentraciones de óxidos de nitrógeno se determinaron tomando como principio de medida la reacción de quimiluminiscencia entre  $\text{NO}$  y  $\text{O}_3$ . El equipo convierte, por métodos estandarizados, todas las moléculas de  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}$  a fin de obtener las concentraciones de  $\text{NO}_x$ . El  $\text{NO}_2$  se obtiene como diferencia entre los valores de  $\text{NO}_x$  y  $\text{NO}$ .

Se desecharon las concentraciones correspondientes a aquellos días en los que no se dispuso de datos para más del 25% de las horas, quedando a disposición del estudio el 83% de estos.

Los datos meteorológicos fueron suministrados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y corresponden a la estación que dicha Agencia tiene situada en la zona sur de la ciudad.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Meteorología

La velocidad media del viento osciló entre los 2,8 m/s del mes enero y los 4,7 m/s de julio. Los mayores valores se registraron durante los meses de verano ( $4,4 \pm 1,3$  m/s) mientras que los de menor intensidad correspondieron al periodo otoño-invierno ( $3,0 \pm 1,2$  m/s). En cuanto a la procedencia, se ha encontrado que han predominado los vientos del primer y cuarto cuadrante, sectores N-NO (44%) y N-NE (30%). Esto es importante porque ha favorecido la dispersión de los contaminantes presentes en la zona de estudio hacia las zonas alta y sur de la ciudad. Por lo que respecta a la temperatura, la media anual se ha situado en  $21,3 \pm 2,7^\circ\text{C}$ , siendo  $16$  y  $28^\circ\text{C}$  las mínimas y máximas registradas. La humedad relativa ha presentado un valor medio del 74%.

### 3.2 Análisis de las concentraciones

En la figura 2 se muestra los registros medios diarios de las concentraciones de ozono. La concentración media anual se ha situado en  $18,1 \pm 5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (media  $\pm$  desviación estándar). Tal como puede apreciarse en dicha figura los valores más altos (20% por encima de los valores habituales) se han detectado en los últimos meses del año (octubre, noviembre y diciembre), con registros medios en octubre y noviembre de  $26,5 \pm 7,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $22,7 \pm 6,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. Aunque el ciclo de generación de ozono está dirigido por la luz solar ( $h\nu$ ), otros parámetros meteorológicos tales como cobertura nubosa, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad y dirección del viento ejercen cierta influencia sobre la cinética de producción y distribución de esta especie química (7). En el presente caso, el hecho de que los valores más altos hayan sido registrados en el último trimestre del año podría deberse a la influencia ejercida por los vientos alisios que, durante los meses veraniegos (más del 90% de estos días) generan un efecto de limpieza de su atmósfera, difuminando la importancia de los mecanismos de activación fotoquímica propios de este periodo. Con la llegada de los meses de otoño estos vientos son mucho menos frecuentes y de menor velocidad pero la intensidad de la radiación solar se mantiene en valores próximos a los de verano (siendo además los días menos nubosos) a la par que se produce un incremento en las emisiones de óxidos de nitrógeno debido a la presencia de más vehículos circulando a causa del incremento en la actividad que surge una vez finalizado el verano.

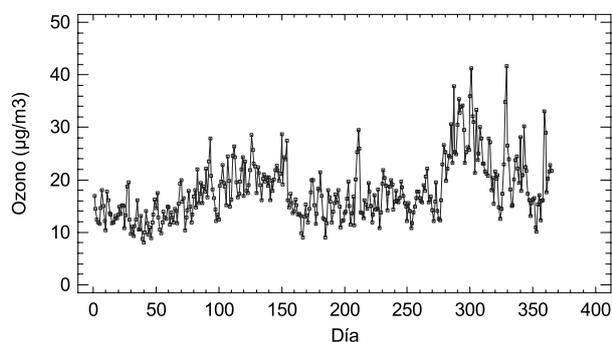


Figura 2. Concentraciones medias diarias de ozono correspondientes al año 2007

En la figura 3, se expone la evolución diaria del ozono, junto con las correspondientes al monóxido y dióxido de nitrógeno. Puede observarse que alcanza las concentraciones máximas durante la tarde y las mínimas en las primeras horas del día. Este incremento diurno se debe básicamente a la fotooxidación de gases precursores, como CO, CH<sub>4</sub> e hidrocarburos en presencia de suficiente cantidad de NO<sub>x</sub>. Debido a esto el valor más alto se registra hacia el mediodía (a las 15 h), cuando la actividad solar es máxima y la atmósfera está cargada de hidrocarburos; el descenso que va experimentando con el avance de la tarde es debido a la combinación: aumento del tráfico y descenso de la radiación solar, que trae como resultado un incremento de la reacción de formación de NO<sub>2</sub>:

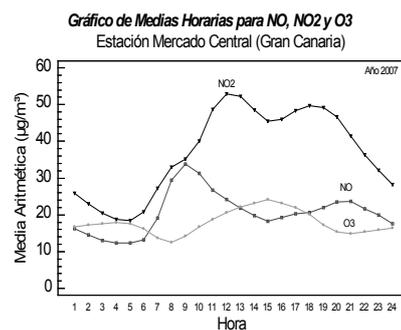
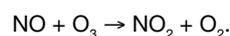


Figura 3. Evolución diaria de O<sub>3</sub>, NO y NO<sub>2</sub> en 2007

El comportamiento estacional de las concentraciones de ozono anteriormente indicado, influido principalmente por la presencia (o ausencia) de vientos alisios, puede apreciarse claramente en la figura 4, donde a modo de ejemplo se muestra el patrón diario correspondiente a los meses de julio (donde predominaron estos vientos) y diciembre (en los que tuvieron mucha menor presencia y fueron de menor velocidad).

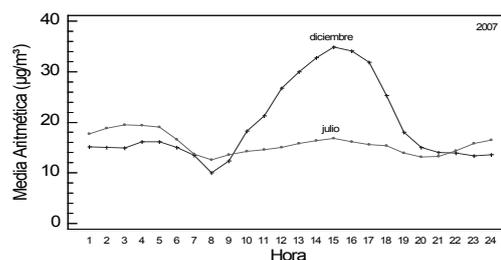
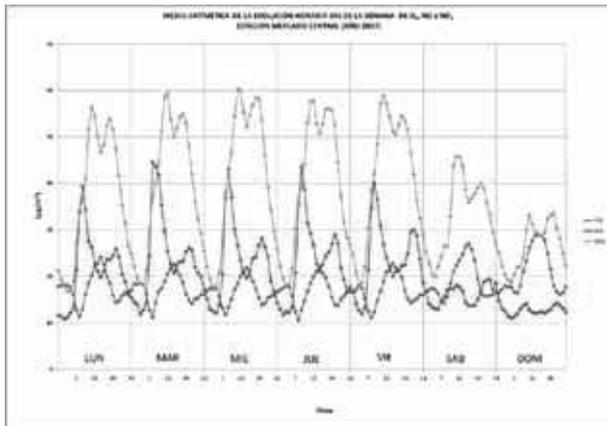


Figura 4. Evolución diaria de las concentraciones de ozono troposférico correspondiente a los meses de julio y diciembre de 2007.

Independientemente de que el ozono presente un patrón diario bastante definido, las concentraciones varían de un día al siguiente, como se muestra en la figura 5. Los ciclos diarios de ozono y sus variaciones día a día revelan importante información sobre las actividades de emisión de gases precursores, como son los procedentes del transporte, de claro interés normativo. El análisis de los patrones diarios de ozono puede servir para distinguir entre la posible influencia de cambios en los niveles de emisión frente a la posible influencia de las variaciones meteorológicas en una zona específica (8). En el presente caso los datos reflejados en la figura 5 denotan una variación en las concentraciones especialmente relevante los fines de semana en los que se han registrado los valores más altos, contrariamente a lo esperado ya que las emisiones de NO<sub>x</sub> fueron más bajas.

Este hecho, denominado efecto fin de semana ha sido objeto de interesantes investigaciones (9) (10) (11) (12). Los fines de semana las emisiones de contaminantes antropogénicos y especialmente de precursores de O<sub>3</sub> suelen ser inferiores a las de los días laborales debido a la menor actividad comercial e industrial. Aunque se han ex-

puesto varias hipótesis para explicarlo (descenso de las concentraciones de  $\text{NO}_x$ , incremento de luz solar debido a la disminución de partículas atmosféricas, cambios en el patrón de emisiones de los óxidos de nitrógeno... etc.) y sea la primera de las citadas la que cuenta con más respaldo científico, los modelos desarrollados específicamente para reproducir este efecto fin de semana aún se encuentran sujetos a ciertos niveles de incertidumbre, debido sobre todo a la complejidad de los mecanismos químicos y atmosféricos que describen la formación de éste contaminante secundario.



**Figura 5.** Evolución semanal horaria de las concentraciones de ozono, NO y  $\text{NO}_2$  registradas durante el año 2007

Tal como se comentó anteriormente, en la zona de Mercado Central (relativamente alejada de núcleos industriales, biogénicos y rurales) las emisiones procedentes de los vehículos constituyen la mayor fuente de precursores de ozono. Ello hace que sea un lugar adecuado para evaluar el efecto fin de semana.

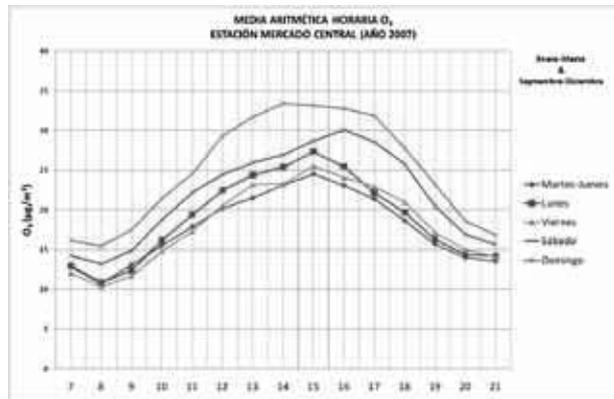
A fin de estudiar el mismo se han analizado los niveles de  $\text{O}_3$  considerando: (a) dos estaciones del año: otoño-invierno (septiembre a diciembre y enero a marzo) y primavera-verano (abril-agosto), (b) dos periodos diarios: diurno desde la 7 a las 21 horas y nocturno desde las 22 h a las 6h del día siguiente y (c) tres tipos de días: (a) martes, miércoles y jueves que representan las concentraciones registradas en el interior de la semana, (b) sábados y domingos que agrupan las concentraciones correspondientes a los fines de semana y (c) lunes y viernes que son dos días que podrían verse afectados por el efecto fin de semana.

La figura 6, representa la evolución diurna de las concentraciones de  $\text{O}_3$ , en el periodo **otoño-invierno**.

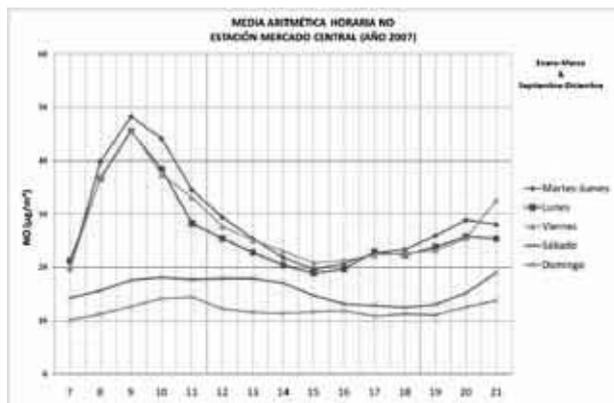
Tal como se observa, los mayores registros se obtienen los fines de semana (domingos:  $25 \pm 12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y sábados:  $21,8 \pm 9,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) con independencia de la hora. Los días laborales presentan unos registros similares e inferiores a los anteriores. Si se observan los niveles concentración de  $\text{NO}_x$  durante el mismo periodo y horario se ve (figura 7) claramente que aparecen los dos grupos (fines de semana y días de la semana) perfectamente separados, desapareciendo ese patrón bimodal de los días laborales que es reemplazado por una distribución lineal y de menor concentración.

En **primavera-verano** (figura 8), ocurre una situación similar a la de otoño-invierno, situándose también los valores más altos de ozono en fines de semana; sin embargo, se

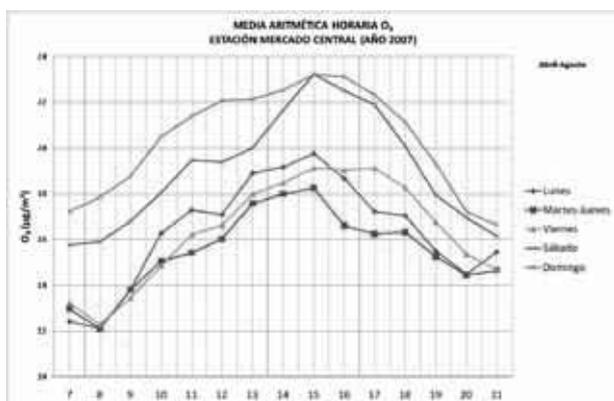
registra un descenso medio de las concentraciones de un 18% (respecto al periodo anterior) que coincide con un ligero incremento de los niveles de NO [ $16,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (sábados) y  $14,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (domingos) frente a  $15,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $12,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del periodo anterior], denotando un cierto comportamiento estacional.



**Figura 6.** Patrón diario de concentraciones de ozono durante el periodo otoño-invierno entre las 07:00 y 21:00 horas



**Figura 7.** Patrón diario de concentraciones de NO durante el periodo otoño-invierno entre las 07:00 y 21:00 horas



**Figura 8.** Patrón diario de concentraciones de  $\text{O}_3$  durante el periodo primavera-verano entre las 07:00 y 21:00 horas.

Durante las horas de ausencia de luz solar las concentraciones máximas de ozono, con independencia de la estación del año que se estudie, se han producido siempre de madrugada (figura 9), entre 01:00 y 05:00, cuando la

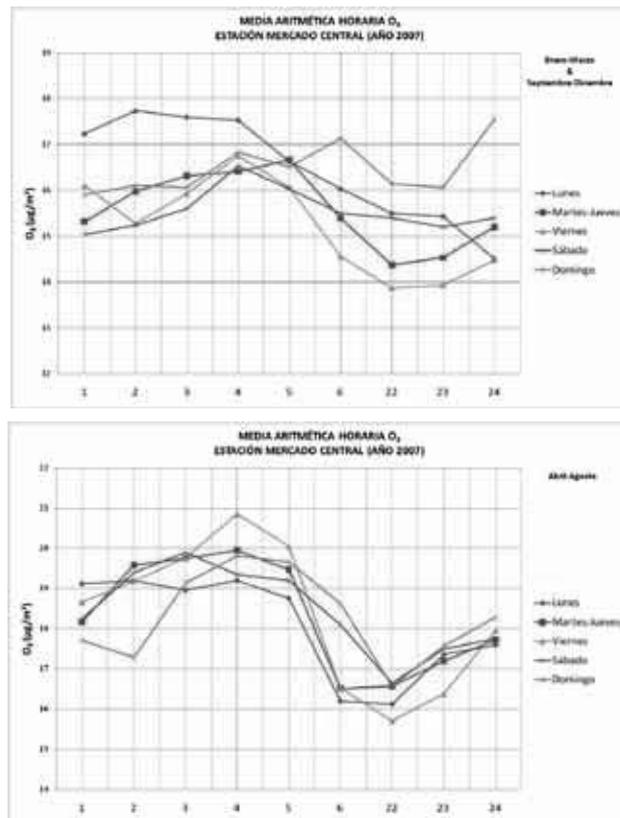


Figura 9. Evolución nocturna de concentraciones de O<sub>3</sub> durante los periodos: (a) otoño-invierno y (b) primavera-verano.

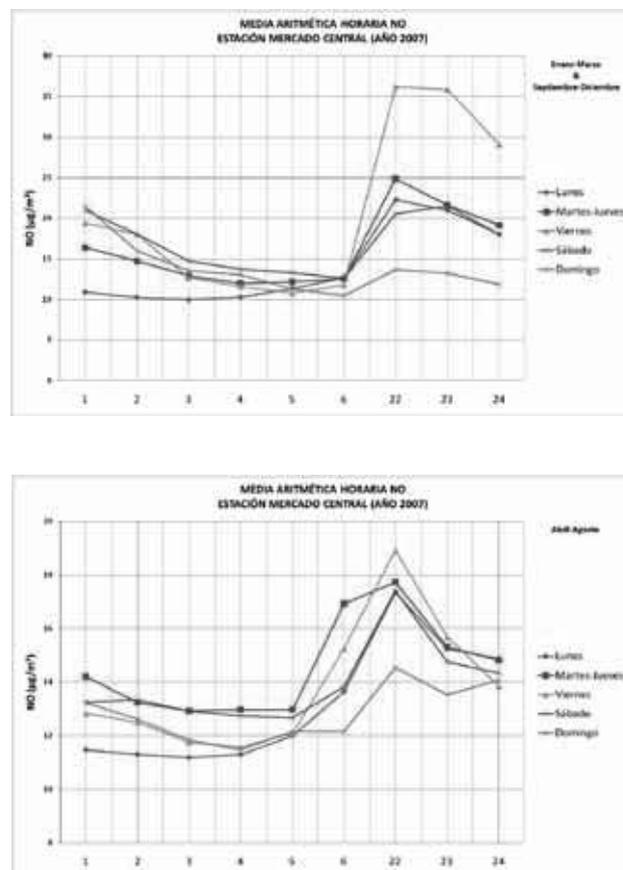
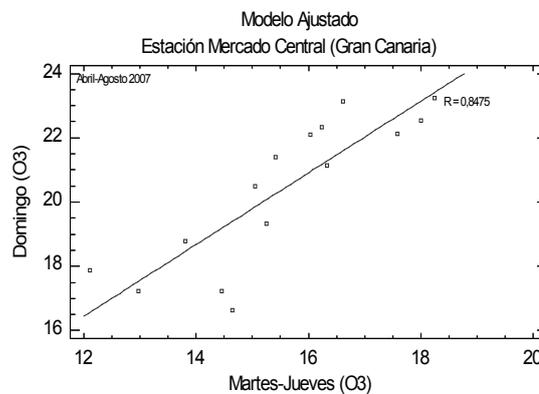
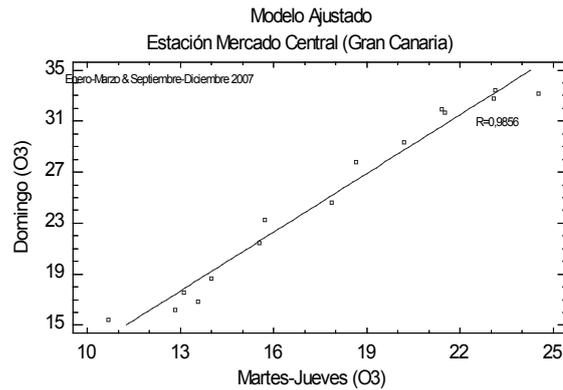


Figura 10. Evolución nocturna de concentraciones de NO durante los periodos: (a) otoño-invierno y (b) primavera-verano.



**Figura 11.** Gráfica de correlación de las medias horarias de ozono, entre las 07:00 y las 21:00, durante la mitad de la semana (martes a jueves) frente a la de los domingos, en (a) el periodo otoño-invierno (coeficiente de correlación: 0,98) y (b) primavera-verano (coeficiente de correlación: 0,85)

densidad de tráfico, y por tanto las emisiones de NO, son las más bajas del día.

El periodo **primavera-verano** registra niveles de O<sub>3</sub> superiores al de otoño-invierno coincidiendo con las menores concentraciones medias horarias de NO (figura 10).

Aún cuando no existe un consenso de cómo cuantificar las causas del efecto fin de semana (13), la forma más ampliamente usada consiste en comparar las concentraciones medias de ozono los domingos con las de los miércoles (14). En este estudio se ha optado por cuantificar el porcentaje de variación de las concentraciones diarias registradas los domingos con respecto al de los días centrales de la semana (martes-jueves), considerando únicamente el periodo diurno, 07:00 a 21:00. Los resultados obtenidos, al analizar las pendientes de las respectivas rectas de regresión lineal, revelan que en los meses de otoño-invierno la concentración de O<sub>3</sub> los domingos, son, aproximadamente, un 40 % superiores a la de los días centrales de la semana, mientras que en primavera-verano ésta diferencia se sitúa en un 30% (figura 11).

### 3.CONCLUSIONES

El análisis expuesto en el apartado anterior aporta datos interesantes sobre el comportamiento del ozono en la atmósfera de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria. Se ha encontrado que los vientos alisios, que soplan durante el verano en ésta ciudad, parecen ejercer un “efecto limpieza” que se traduce en concentraciones de ozono en verano inferiores (en contra de lo que suele ser habitual, ya que el ciclo de generación de éste contaminante está dirigido por la luz solar) a las registradas durante los meses de otoño-invierno en los que la frecuencia de estos vientos es mucho menor.

La evolución diaria de las concentraciones aunque muestra un patrón definido, deja constancia de mayores niveles de concentración durante los fines de semana, con independencia de la estación del año. El estudio realizado pone de manifiesto la existencia en nuestra ciudad del denominado “efecto fin de semana”, alcanzándose las mayores concentraciones cuando las tasas de emisión de los precursores de ozono son más bajas. Un análisis de regresión lineal, efectuado con los valores medios diarios

---

correspondientes a los domingos frente a los de los días centrales de la semana, ha permitido cuantificar éste efecto al encontrar que los domingos las concentraciones se mueven entre un 30 y un 40 % (según la estación del año) por encima de las de los días laborales. Debido a su compleja química, el ozono no responde linealmente a los niveles de los precursores. Aunque en el momento actual no se dispone aún de valores de concentración de compuestos orgánicos volátiles (COV's), todos los datos apuntan a que la ciudad presenta una atmósfera COV-sensible (abundante cantidad de NO<sub>x</sub> en relación a la de COV's), típica de algunas ciudades en las que descensos en las concentraciones de NO<sub>x</sub> pueden causar un aumento en los registros de ozono. La explicación de la variación "fin de semana/entre semana", debido al descenso de NO<sub>x</sub>, se encuentra respaldada por amplio número de análisis de datos ambientales y por varios estudios fotoquímicos, jugando los cambios temporales y de localización de las emisiones un papel menor en la conducta que ofrece el ozono los fines de semana (15)

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

1. Alvim-Ferraz, M., Sousa S., Pereira M., Martins F. (2006). Contribution of anthropogenic pollutants to the increase of tropospheric ozone levels in the Oporto Metropolitan Area, Portugal, since the 19<sup>th</sup> century. *Environmental Pollution*, 140 (3), 516-524
2. Chan L., Liu H., K.S. L. Wang, Harris J., S.J., O. (1998). Analysis of the seasonal behaviour of tropospheric ozone at Hong Kong. *Atmospheric Environment* 32, 159-168
3. Kley D., Kleinmann M., Sanderman H., Krupa, S. (1999). Photochemical oxidants: state of the science. *Environmental Pollution*, 100, 19-42.
4. Leeuw G., Moerman M., De Jong A., Zeisse C. (2000). Effect of aerosols on coastal transmission. *Journal of Aerosol Science*, 31, 727-728.
5. Orozco Barrenetxea, C., Pérez Serrano A., González Delgado M., Rodríguez Vidal F. J., Alfayate Blanco J. (2003). *Contaminación Ambiental: Una visión desde la química* (3<sup>a</sup>d.). Thompson.
6. Sillman S. (1999). *Overview: Tropospheric ozone, smog and ozone-NO<sub>x</sub>-VOC Sensitivity*. <http://www-personal.engin.umich.edu/~sillman>
7. Aneja V.P., Li Z., Das M., (1994). Ozone case studies at high elevation in the Eastern United States. *Chemosphere* 29 (8), 1711 - 1733.
8. Lefohn A.S., Foley J.K., Shadwick D.S., Tilton B.E., (1993). Changes in diurnal patterns related to changes in ozone levels. *Journal of the Air Waste Management Association* 43, 1472-1478.
9. Marr L., Harley R. (2002). Spectral analysis of weekday-weekend differences in ambient ozone, nitrogen oxide, and non-methane hydrocarbon time series in California. *Atmospheric Environment*, 36 (14), 2327-2335.
10. Vandeale A., Tsouli A., Carleer M., Colin R. (2002). UV Fourier transform measurements of tropospheric O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, benzene and toluene. *Environmental Pollution*, 116, 193-201.
11. Fujita E., Stockwell W., Campbell D., Keislar R., Lawson D. (2003). Evolution of the magnitude and spatial extent of the weekend ozone effect in California's south coast air basin. *Journal Air Waste Management Association*, 53, 802-815.
12. Riga-Karandinos A. N., Saitanis, C. (2005). Comparative assessment of ambient air quality in two typical Mediterranean coastal cities in Greece. *Chemosphere*, 59, 1125-1136.
13. Chow J.C. (2003). Introduction to special topic: weekend and weekday differences in ozone levels. *Journal of the Air and Waste Management Association* 53, 771.
14. Alshuler S.L., Arcado T.D., Lawson D.R., (1995). Weekdays vs. weekend ambient ozone concentrations: discussion and hypotheses with focus on Northern California. *Journal of Air and Waste Management Association* 45, 967-972.
15. Heuss J.M., Kahlbaum D.F., Wolff, G.T., (2003). Weekday/weekend ozone differences: what can we learn from them? *Journal of the Air and Waste Management Association* 53, 772-788.