



**Congreso Nacional del Medio Ambiente**  
Cumbre del Desarrollo Sostenible

**COMUNICACIÓN TÉCNICA**

# Estudio de calidad del aire en la ciudad de Granada

Autor: Jerónimo Vida Manzano

Institución: Universidad de Granada y Ayuntamiento de Granada  
E-mail: [jvida@ugr.es](mailto:jvida@ugr.es)

Otros autores: Hassan Lyamani, Fco José Olmo Reyes, Inmaculada Foyo, Lucas Alados Arboledas, Francisco Muñoz Collado



## **RESUMEN:**

Se analizan los datos de la red de calidad del aire que la Junta de Andalucía tiene en operación en la ciudad de Granada. Este núcleo urbano se caracteriza por un tráfico denso y la ausencia de grandes industrias contaminantes. Para el estudio se han seleccionado dos estaciones operativas en la actualidad y que corresponden a las categorías de estación de tráfico y estación de fondo urbano. En el caso de la primera se ha analizado la serie de datos que cubre el periodo 2000 a 2007, detectando las tendencias en este periodo de tiempo. Por otro lado, para los años 2006 y 2007, en que ambas estaciones están operativas se ha realizado un estudio comparativo, que ha permitido caracterizar la dinámica de los contaminantes en cada tipo de estación, cubriendo desde variaciones estacionales a ciclos diarios. Se presentan estadísticas de superación de límites legales, destacando las superaciones de los límites de partículas en la estación de tráfico. Parte de estas superaciones se debe a intrusiones de polvo sahariano. Los límites legales de gases contaminantes no se superan en ninguna de las estaciones, y destaca el hecho de que la estación de fondo mide valores más altos de ozono que la estación de tráfico.



## 1. INTRODUCCIÓN

La presencia de partículas sólidas y/o líquidas en suspensión en el aire atmosférico (aerosol atmosférico) produce múltiples efectos sobre el clima, la visibilidad, la salud de los humanos y diversos ciclos biogeoquímicos. Por ello el estudio de las partículas atmosféricas en suspensión debe realizarse con un marcado carácter interdisciplinar.

El efecto sobre la salud de las partículas atmosféricas en suspensión en términos de incremento en mortalidad por afecciones cardiovasculares y respiratorias, por el carácter carcinógeno de algunas especies y el importante impacto en la salud de niños y fetos, impulsó a la Comisión Europea a aprobar en el año 1999 la Directiva 1999/30/EC de Calidad del Aire en donde se establecía una normalización de los niveles de calidad del aire de obligado cumplimiento por parte de los Estados Miembros. Esta directiva establece un valor límite anual de  $40 \mu\text{gPM}_{10} \text{ m}^{-3}$  en 2005 y de  $20 \mu\text{gPM}_{10} \text{ m}^{-3}$  en 2010, y el valor límite diario de  $50 \mu\text{gPM}_{10} \text{ m}^{-3}$  que no podrá ser superado en un número superior a 35 días año<sup>-1</sup> en 2005 y 7 días año<sup>-1</sup> en 2010. Tras la reciente revisión de esta Directiva la Comisión Europea ha emitido una versión preliminar que propone mantener los valores límites establecidos en la Directiva 1999/30/EC para 2005, añadiendo adicionalmente añadir un valor de concentración tope anual de  $\text{PM}_{2.5}$  para 2015 de  $25 \mu\text{g m}^{-3}$ . Además se propone establecer un valor objetivo de reducción a la exposición de la población a  $\text{PM}_{2.5}$  que consistirá en la reducción en el 20% de la media tri-anual de  $\text{PM}_{2.5}$  obtenida en estaciones de fondo urbano entre 2008-2010 y 2018-2020.

En Europa en general y en España en particular, control de los niveles de contaminación atmosférica por partículas atmosféricas así como estudios de especiación química de dichos contaminantes se lleva a cabo con frecuencia en las ciudades para obtener medidas representativas de la exposición de la población. Sin embargo no se han estudiado con tanta precisión los niveles de fondo regional de estos contaminantes. Tampoco se ha detallado la caracterización meteorológica de los distintos episodios que explican la variabilidad estacional y geográfica de los niveles de MP en estaciones de fondo regional de la Península Ibérica.

El trabajo con estaciones de fondo regional (aquellas localizadas fuera de la influencia directa de fuentes antropogénicas locales de partículas atmosféricas en suspensión) permite la detección y el estudio de una serie de episodios naturales y antropogénicos de aporte de aerosoles que tendrán una influencia importante en todo tipo de estaciones de medida de la Península Ibérica. Entre estos eventos se encuentran las intrusiones de polvo atmosférico Africano. Estas entradas de masas de aire Africanas con alta carga de material crustal provocan unos incrementos importantes en los niveles de partículas atmosféricas en suspensión especialmente en los rangos de tamaño gruesos (TSP y  $\text{PM}_{10}$ ) que puede producir superaciones de los niveles límite establecidos en la Directiva 1999/30/CE. Cabe recordar que, de acuerdo con esta directiva, las superaciones asociadas a episodios de resuspensión natural podrán ser descontadas si son justificadas adecuadamente. El polvo mineral Africano constituye además una fuente importante de alcalinidad que reduce la incidencia de la lluvia ácida en el Mediterráneo.

Con el fin de identificar el tipo de episodio que afecta a las distintas zonas de la Península Ibérica se puede llevar a cabo un análisis que incluya el cálculo de retro-trayectorias con el modelo de dispersión HYSPLIT4, la inspección de imágenes de satélite (SeaWiFS), de mapas de índice de aerosoles (TOMS), de mapas de modelos de predicción de aerosoles

SKIRON (Kallos et al., 1997), NAAPs y Mapas **ICoD-BSC/DREAM** (Nickovic et al., 2001) y la consulta de mapas meteorológicos. En el caso del presente estudio se han hecho uso de la información aportada por el proyecto CALIMA ([www.calima.es](http://www.calima.es)) promovido y financiado por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

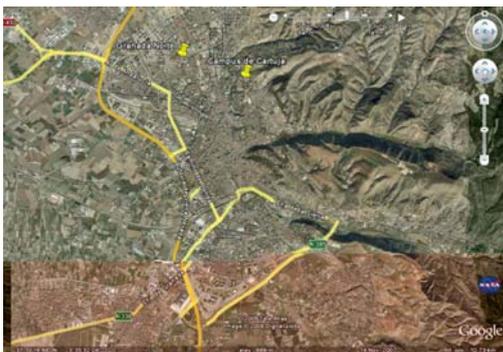
En este informe se presentan los resultados de un estudio de la calidad del aire en la ciudad de Granada. Por un lado se ha hecho un estudio exhaustivo de los niveles de material particulado en la fracción  $PM_{10}$ , partículas de diámetros inferiores a 10 micrómetros. En este estudio se ha realizado un análisis de la influencia de episodios de transporte de polvo mineral del Sahara sobre la carga de aerosol en el entorno urbano de Granada. Adicionalmente se describen los niveles anuales de diversos gases contaminantes.

Las estaciones empleadas en el presente estudio forman parte de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

## 2. METODOLOGÍA Y SELECCIÓN DE ESTACIONES

Dada la complejidad de cualquier entorno urbano y partiendo de la disponibilidad de diferentes estaciones de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Las figuras 1 y 2 muestran con diferentes escalas las ubicaciones de las estaciones en la ciudad de Granada. Las figuras muestran las vías principales de la ciudad.

Los datos proporcionados por las estaciones incluyen los niveles de  $PM_{10}$  obtenidos con un equipo de atenuación beta y gases ( $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$ ), que han sido facilitados por la Dirección General de Calidad del Aire y Protección Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.



*Figuras 1 y 2. Ubicación de las estaciones*

*de muestreo de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Granada Norte ( $37^{\circ}11'50.8''N$ ,  $3^{\circ}36'28''O$ ), estación de tráfico, y la de Campus de Cartuja ( $37^{\circ}11'27''N$ ,  $3^{\circ}35'5''O$ ), estación de fondo urbano.*

Se han usado diversas fuentes de información tales como retrotrayectorias y mapas de satélite para conocer la procedencia regional de las partículas. En este sentido, para la determinación de eventos de transporte de polvo mineral de origen sahariano se ha usado la información disponible en la base de datos del proyecto CALIMA



([www.calima.es](http://www.calima.es)), promovido y financiado por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Dado que el registro de datos se realiza en periodos de 10 minutos se ha abordado la caracterización de las diferentes variables en diferentes escalas de tiempo. De manera que junto al estudio de valores anuales, estacionales y mensuales, se ha abordado la caracterización de las variaciones diarias a lo largo de la semana, definiendo patrones semanales, tanto promedio anual como estacional. Esta información junto con la obtenida mediante el análisis de los patrones de evolución diaria, usando diferentes promedios, nos permite trazar un esquema más detallado de las variaciones de la contaminación en la ciudad de Granada y de la influencia de la actividad humana, con especial incidencia del tráfico rodado, en la calidad del aire.

En el estudio de las superaciones de los valores límites establecidos por la legislación vigente se ha hecho atendiendo a los criterios de integridad de la base de datos. Esto ha dado lugar a que algunos años hayan sido excluidos de esta parte del estudio, dado que el porcentaje de datos disponible sobre el potencial estaba por debajo de lo establecido en la normativa. Por otro lado la Directiva 1999/30/CE establece que las medidas de los niveles de  $PM_{10}$  obtenidas con equipos automáticos deben compararse, siguiendo la directiva de la normativa EN12341, con las obtenidas mediante equipos manuales de  $PM_{10}$  de referencia basados en técnicas gravimétricas para la determinación de los niveles de PM. Ante la ausencia de estas comparaciones se propone aplicar un factor corrector por defecto a las medidas automáticas de 1.3. En este sentido se presentan los resultados del estudio de límites de superación tanto usando los valores automáticos sin factor de corrección como con el citado factor 1.3. Los resultados difieren marcadamente y deben de tomarse como una indicación de la conveniencia de realizar la perceptiva comparación automática manual con una periodicidad bianual, ya que el valor 1.3 se elige como factor de seguridad y por ello se sobredimensiona en la mayoría de los casos con el fin de aplicar un estricto control sobre la carga de material particulado.

### 3. ESTUDIO COMPARATIVO ESTACIÓN DE TRÁFICO VS. ESTACIÓN DE FONDO URBANO

#### 3.1 Estudio de las partículas atmosféricas en suspensión, PM<sub>10</sub>

##### 3.1.1 Datos anuales

Como se ha indicado en la sección 2, se han elegido dos estaciones de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Granada Norte (37°11'50.8"N, 3°36'28"O), estación de tráfico, y la de Campus de Cartuja (37°11'27"N, 3°35'5"O), estación de fondo urbano. Para el cálculo de los promedios anuales hemos exigido que el porcentaje de datos válidos sea superior al 90%, con el fin de cumplir el objetivo de calidad de captura mínima exigido por las directivas 1999/30/CE, 2000/69/CE Y 2002/3/CE. Esto nos ha llevado a excluir de los cálculos de promedios anuales el año 2007 en la estación de Granada Norte, en la que se carece de registros de PM<sub>10</sub> durante el primer trimestre del año.

Los resultados del estudio de promedios anuales reflejan de un lado las variaciones de año a año en la estación de tráfico, Granada Norte, de la que se dispone de un total de 7 años, con más de un 90% de datos válidos. En el caso de la estación de fondo urbano, los valores promedios anuales, para un conjunto ciertamente restringido de años, muestran mayor similitud de año a año. El carácter de estación de tráfico de la estación Granada Norte queda evidenciado por los mayores valores del promedio anual que en 2000, 2001 y 2005 supera el límite establecido por la normativa 1999/30/CE,. En cambio la estación de fondo urbano del Campus de Cartuja no supera el mencionado límite anual.

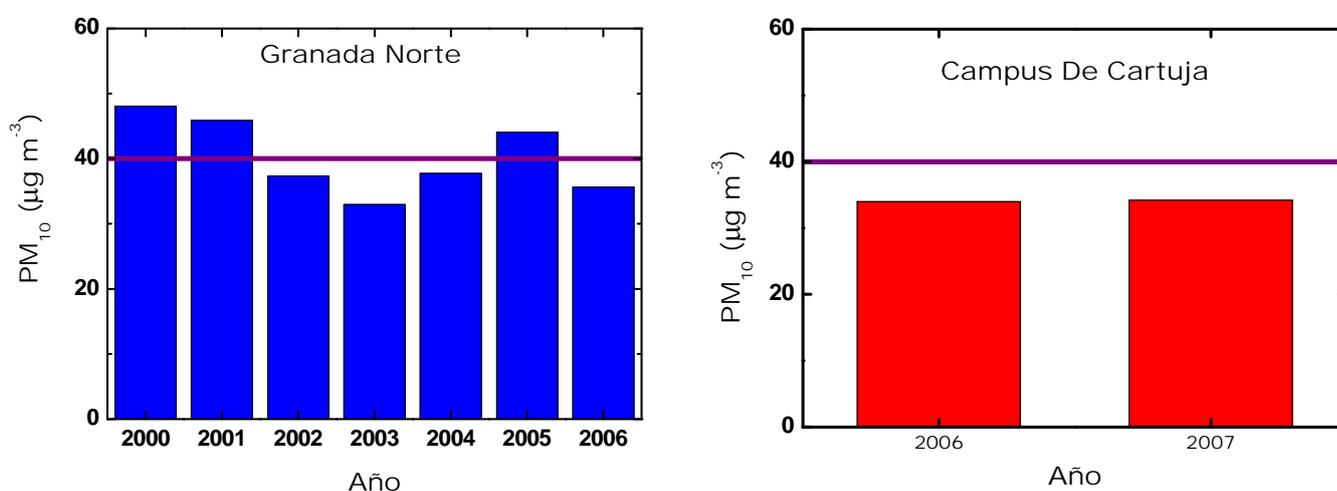


Figura 3. Valores promedios anuales de PM<sub>10</sub> en las estaciones seleccionadas.

##### 3.1.2 Datos estacionales

Los resultados del análisis estacional realizado sobre el año que ambas estaciones disponen de más del 90% de datos válidos, 2006, se presentan en forma de diagramas Box-Whisker en la figura 4. Se puede apreciar como las mayores diferencias entre Campus de Cartuja y Granada Norte en términos de valores medios aparecen en Invierno. Es destacable la mayor dispersión de datos en el Campus de Cartuja, con

rangos intercuatilares (25-75%) mayores en todas las estaciones del año, excepto en Invierno.

Normalmente el valor promedio estacional queda por encima de la mediana, lo cual sugiere que los valores extremos, asociados a eventos de alta carga de partículas son menos frecuentes, pero suficientemente intensos como para influir en el promedio, sin que los episodios de menor carga de partículas puedan compensarlos. En esta misma línea se comportan los máximos, que coinciden con el percentil 99% en todas las situaciones.

### 3.1.3 Datos mensuales

El estudio comparativo de los valores medios mensuales se presenta en la figura 5. Por un lado se presenta el periodo de coincidencia de ambas estaciones, siendo evidente la ausencia de datos en Granada Norte durante el primer trimestre de 2007, responsable de que el porcentaje de datos válidos de esa estación esté por debajo del 90% exigido por la normativa comunitaria. No obstante es destacable que para las fechas disponibles de 2007, los valores registrados en Granada Norte superan a los de meses correspondientes en el año anterior, siendo marcadamente mayores que los promedios mensuales en Campus de Cartuja. Este hecho se evidenciará más adelante, cuando se haga la estadística de superaciones del Valor Límite Diario, VLD. Por otro lado, centrándonos en 2006, para el que ambas estaciones disponen del número apropiado de datos (porcentaje de datos válidos superior al 90%), podemos observar como Granada Norte presenta valores sustancialmente más altos que Campus de Cartuja durante el Invierno y el Otoño, mientras que durante la primavera y especialmente verano la estación de fondo urbano supera a la estación de tráfico. Este hecho es coherente con las diferencias encontradas en los valores estacionales.

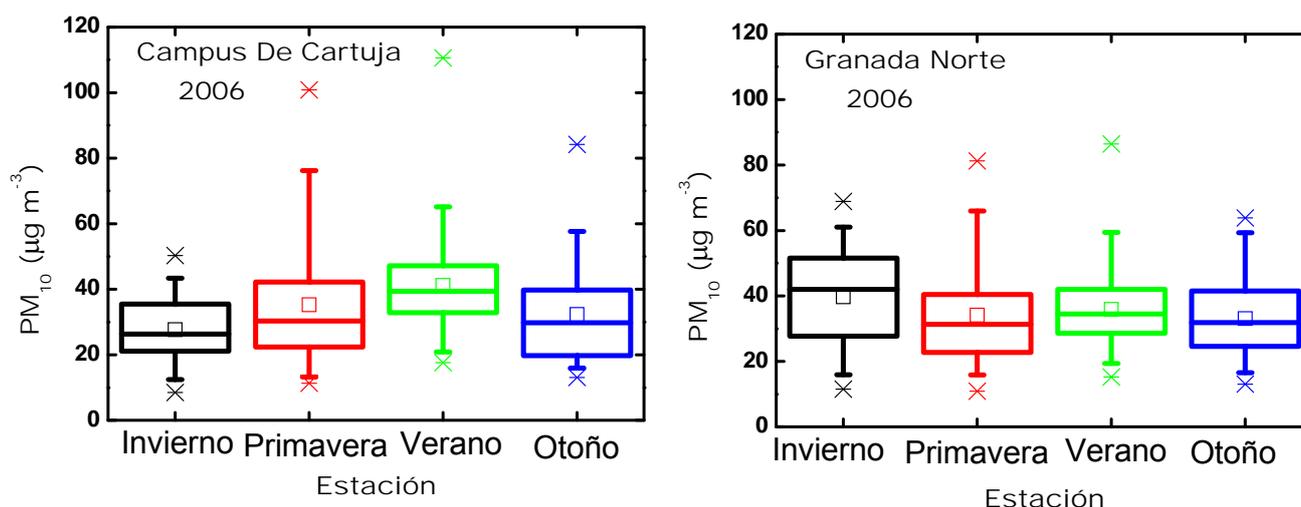


Figura 4. Diagrama Box-Whisker mostrando las diferencias en los comportamientos estacionales en las estaciones seleccionadas. Los límites de la caja (Box) corresponden a los percentiles 25 y 75. La línea interior representa la mediana. Las marcas x

representan los percentiles 1 y 99% de los datos, mientras que con – se denotan el máximo y mínimo. Los cuadrados pequeños indican el valor medio.

### 3.1.4 Patrones Semanales

Con el fin de comprender mejor la dinámica de los procesos que afectan a la calidad del aire en la ciudad de Granada se han estudiado los patrones semanales usando diferentes periodos de promedio. Así la Figura 6 presenta los resultados correspondientes al patrón semanal, evaluado para las dos estaciones seleccionadas usando los datos del año 2006, en el que ambas estaciones presentan la apropiada integridad de la base de datos.

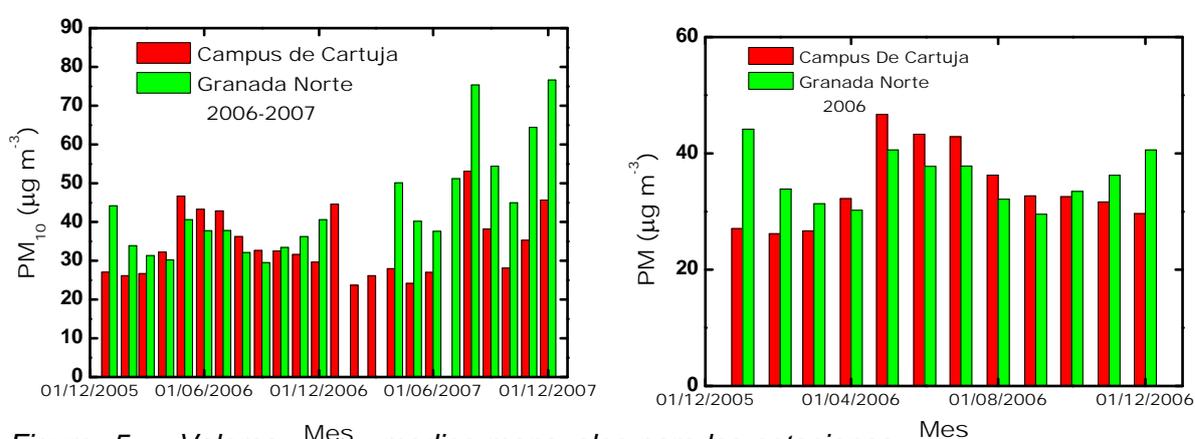


Figura 5. Valores <sup>Mes</sup> medios mensuales para las estaciones seleccionadas. Se muestran los meses disponibles en el periodo 2006-07, donde se pueden evidenciar las lagunas de datos en 2007, responsables de que en Granada Norte no dispongamos del 90% de datos válidos, necesario como control de calidad de los análisis anuales. Por otro lado, se muestra los resultados para 2006, que presenta la integrada apropiada de datos válidos en ambas estaciones.

El patrón semanal muestra como el nivel de material particulado disminuye en los fines de semana. Este resultado muestra claramente la influencia antropogénica sobre los niveles de material particulado en la ciudad de Granada. Tanto las actividades debidas al tráfico, asociadas al aporte de partículas primarias y secundarias, como actividades de construcción y demolición, responsables de una relevante contribución de partículas primarias, presentan un característico ciclo semanal, con mínimos de actividad durante el fin de semana.

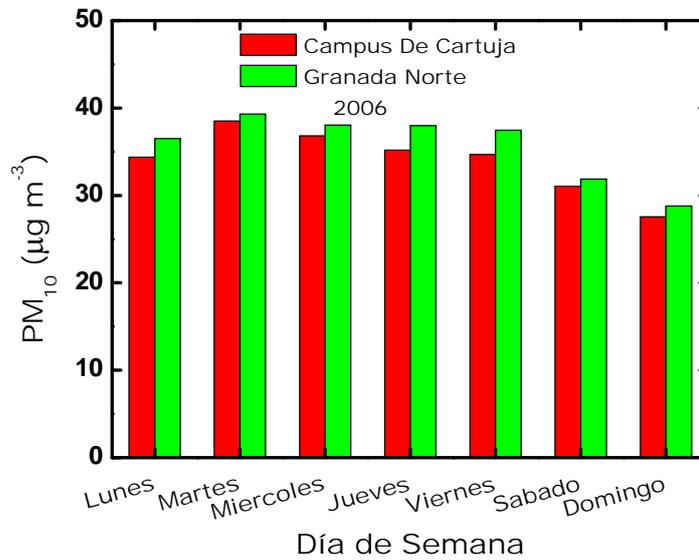


Figura 6. Patrón semanal promedio para el año 2006 en ambas estaciones.

De otro lado, el hecho de que especialmente en la estación de tráfico, Granada Norte, se aprecie la presencia de una meseta que incluye, con valores muy similares, los días de martes a viernes, indica la reducida capacidad de renovación del aire en el entorno de esa estación, que no presenta una reducción apreciable de su carga de material particulado hasta el fin de semana. En cambio en la estación de fondo urbano, se alcanzan valores máximos entre el martes y el miércoles y no es apreciable la meseta descrita en Granada Norte.

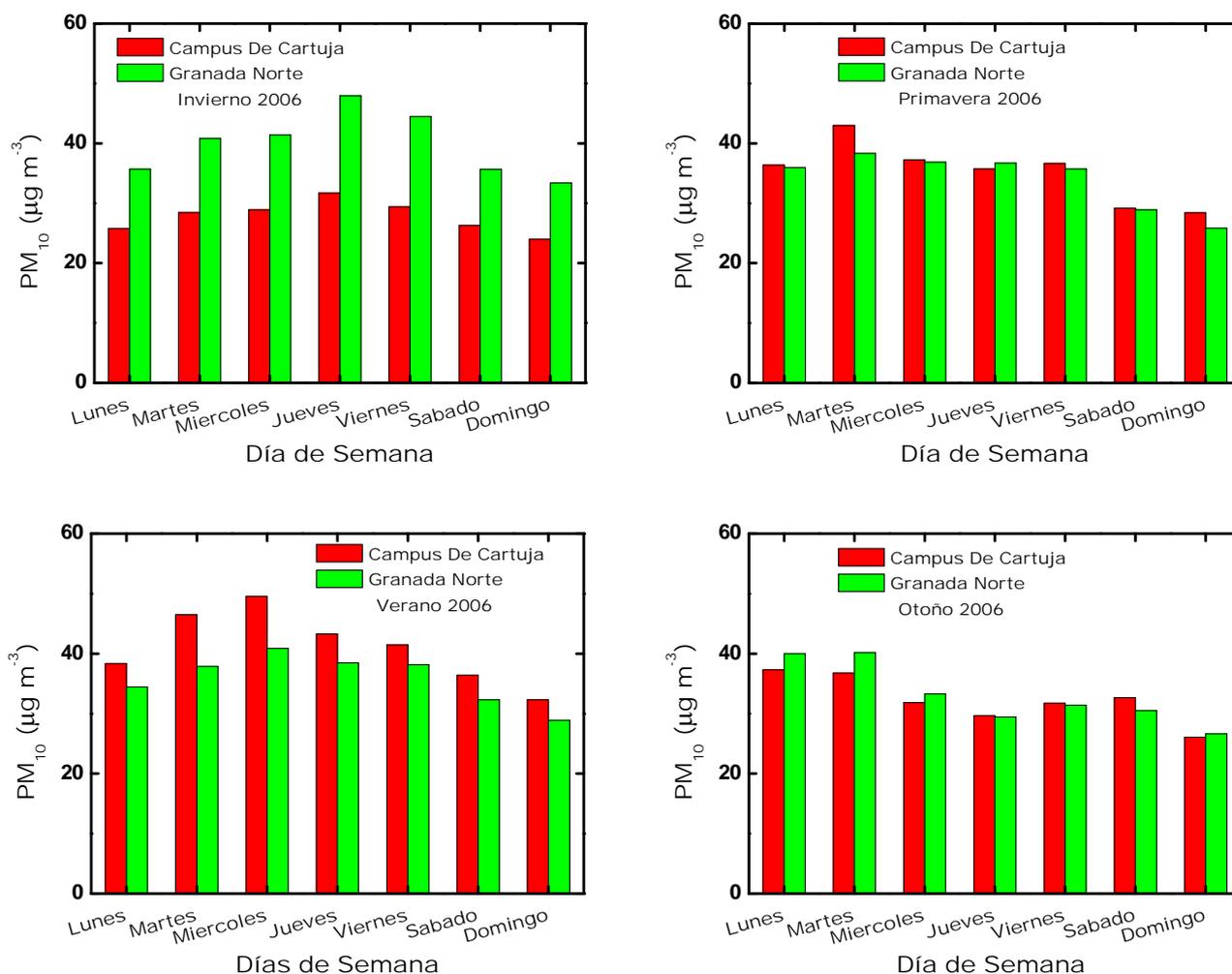


Figura 7. Patrón semanal promedio estacional, evaluado en 2006, en ambas estaciones.

En la Figura 7 se presentan los patrones semanales evaluados para diferentes estaciones del año en Granada Norte y Campus de Cartuja. Este análisis vuelve a poner en evidencia las diferencias estacionales entre ambas estaciones bajo estudio. Así en Invierno se evidencia que Campus de Cartuja presenta menores diferencias entre los días laborales y el fin de semana, mientras que en el caso de Granada Norte existe un claro ciclo semanal, alcanzándose valores máximos al final de la semana laboral, jueves y viernes. Una posible explicación de esta pauta sería la acumulación de partículas emitidas a lo largo de la semana. Esta circunstancia evidenciaría la menor tasa de renovación de aire durante el invierno. Tanto el otoño como la primavera tienen un ciclo menos marcado, posiblemente resultado de las condiciones meteorológicas típicas de estas estaciones, en las que una mayor inestabilidad primaveral y la presencia de lluvias en otoño puede ser responsables de la eliminación de partículas en suspensión, por su arrastre en la lluvia o su difusión a regiones más alejadas de la superficie. En verano es destacable un patrón semanal marcado en el que los máximos semanales se alcanzan al

principio de la semana laboral. Para todos los días de la semana Campus de Cartuja presenta valores superiores a los registrados en Granada Norte, lo cual sugiere una influencia importante de actividades adicionales al tráfico, como pueden ser actividades de construcción y demolición junto con la incidencia debida a que el entorno rural próximo a la ciudad presente extensiones relevantes de zonas sin vegetación y con gran aridez en esta época del año.

### 3.1.5 Patrones Diarios

Dadas las características de la base de datos de Calidad del Aire de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía es posible estudiar los patrones diarios de las diferentes variables. El estudio de los patrones diarios de  $PM_{10}$  nos aporta más información sobre la dinámica de los procesos que afectan a la calidad del aire en la ciudad de Granada. Las Figura 8 y 9 muestra los patrones diarios de ambas estaciones. En la figura 8 se representan por separado los patrones correspondientes a días laborables y fines de semana. Como se puede apreciar esta división está claramente justificada por las marcadas diferencias encontradas. En la figura 9 se muestra el patrón diario medio de cada día de la semana.

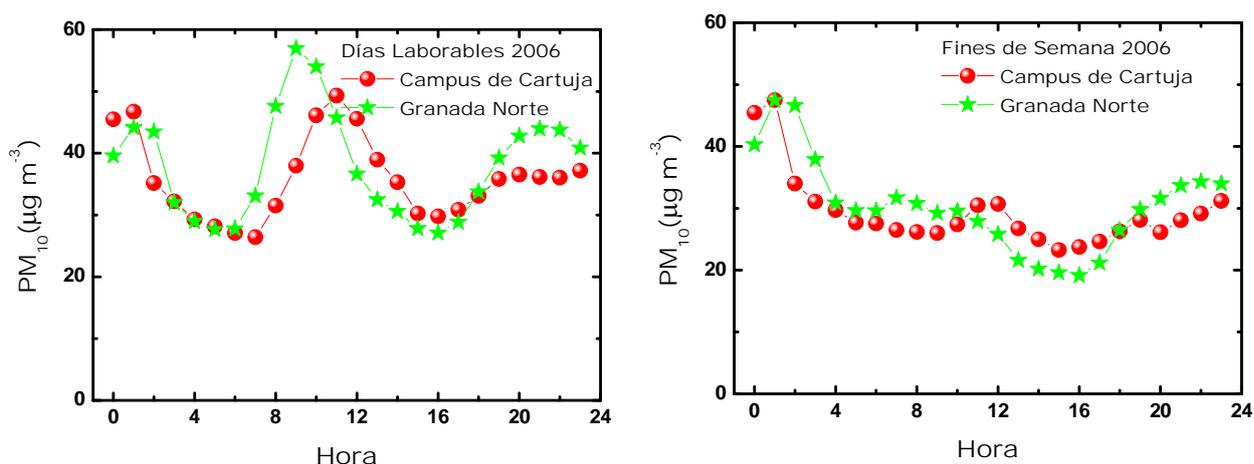


Figura 8. Patrón diario para días laborables y fines de semana semanal promedio anual, evaluado en 2006, en ambas estaciones.

En días laborables se detecta un ciclo diario con varios máximos locales. El mayor de ellos corresponde a la mañana. En Granada Norte este máximo se localiza sobre las 9:00 de la mañana, una vez que se ha producido el pico de tráfico matinal. En Campus de Cartuja, este máximo es menor y está retrasado casi un par de horas. Estas diferencias en intensidad y momento del máximo muestran las diferencias esperables entre una estación de tráfico y una de fondo urbano. A lo largo de la mañana de los días laborables los efectos de difusión atmosférica, junto con una reducción del tráfico de horas punta lleva a una reducción de los niveles de  $PM_{10}$ , que alcanzan simultáneamente un mínimo local entorno a las 16:00 horas. En la generación de este mínimo local interviene de modo claro el comportamiento de la atmósfera urbana, que presenta una altura de capa de mezcla mucho más elevada a esas horas. De este modo, las emisiones urbanas se diluyen en un mayor volumen de atmósfera y los registros a nivel de superficie muestran valores más bajos.

A lo largo de la tarde se produce un aumento de los niveles de  $PM_{10}$ , en el que interviene el aumento del tráfico al final del día y el hecho de que la capa de mezcla reduzca drásticamente su altura. El pico en  $PM_{10}$  de la estación de tráfico aparece entorno a las 21:00, mientras que el de la de fondo urbano no aparece tan definido. Los niveles de  $PM_{10}$  siguen aumentando hasta la media noche, debido a la dinámica de la capa de mezcla. A partir de ese momento, debido a la drástica reducción de fuentes de contaminación urbana los niveles de  $PM_{10}$  disminuye hasta alcanzar un mínimo local, que en Granada Norte se produce a las 6:00 de la mañana y en Campus de Cartuja una hora más tarde. Hay que señalar que los mínimos de  $PM_{10}$  son superiores a los  $25 \mu g/m^3$ , y que los máximos matinales llegan a doblar ese valor en la estación de tráfico.

Durante los fines de semana el comportamiento es muy distinto con valores relativamente bajos, los mínimos se aproximan a  $20 \mu g/m^3$ . Se mantiene el pico de medianoche, que, como hemos indicado, se puede explicar por la dinámica de la capa de mezcla. La tendencia al aumento de  $PM_{10}$  a partir de las 16:00 horas puede asociarse a los cambios en la pauta del tráfico durante el fin de semana y a la dinámica atmosférica, que reduciría la capacidad de difusión atmosférica al final del periodo diurno.

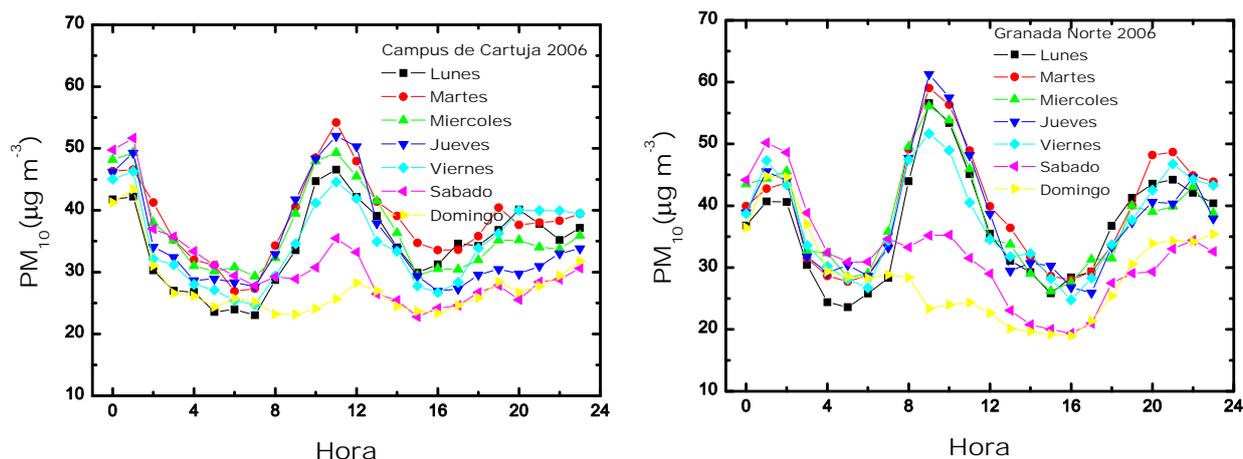


Figura 9. Patrón diario para cada día de la semana, evaluado en 2006, en ambas estaciones.

### 3.1.6 Superaciones de los límites establecidos por la legislación

#### 3.1.6.1 Estación de fondo urbano, Campus de Cartuja.

A continuación presentamos el análisis de superaciones de los límites legales establecidos para los niveles de  $PM_{10}$ . La figura 10 muestra la evolución de los valores diarios. De acuerdo a la Tabla I, en 2006 encontramos 38 ocasiones en la que se supera el nivel diario permitido,  $50 \mu g/m^3$ , mientras que en 2007 el número de días en los que se supera el valor diario límite es de 41. En ambos años hay más de 35 días con valores superiores al límite legal y por lo tanto hay superación del valor límite diario. De acuerdo al análisis de valores medios anuales, Figura 11, en ninguno de los años se supera el

valor límite anual de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con lo que no hay superación del valor límite anual para la protección de la salud.

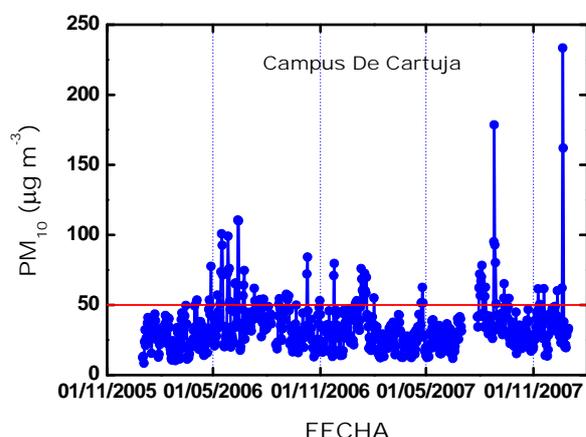


Figura 10. Evolución de valores diarios de  $PM_{10}$  en la estación de Campus de Cartuja.

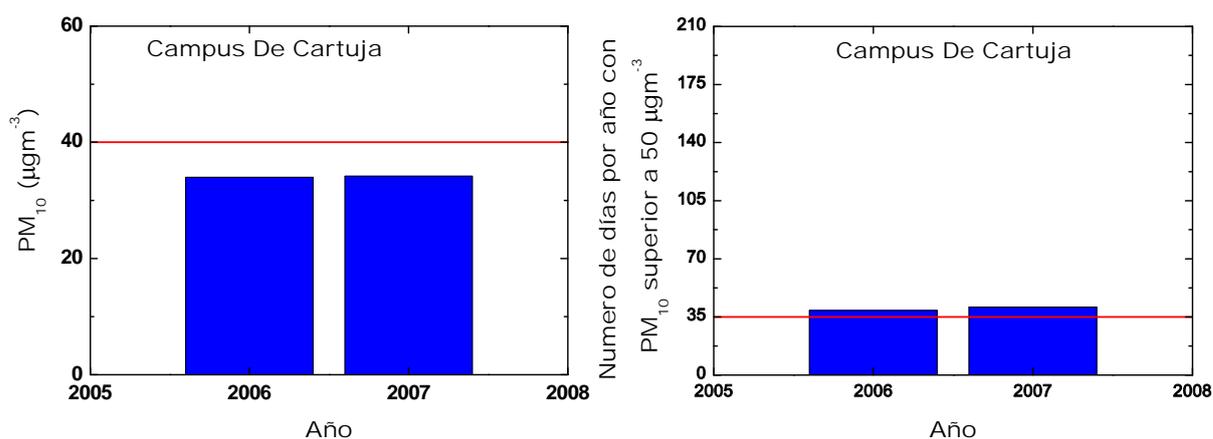


Figura 11. Valor medio anual de  $PM_{10}$  y número de superaciones del valor límite diario en la estación de Campus de Cartuja.

| Año  | Media 24h          | Año civil        | Superación de Límites |
|------|--------------------|------------------|-----------------------|
|      | Nº de superaciones | Superaciones     |                       |
|      | Salud humana (1)   | Salud humana (2) |                       |
| 2006 | 38                 | No               | Si (1)                |
| 2007 | 41                 | No               | Si(1)                 |

| Límite   | Periodo | Valor limite  | Fecha de cumplimiento |
|--|---------|---|-----------------------|
| Valor límite diario para la protección de la salud | 24 h    | $50 \mu\text{g m}^{-3}$ , valor que no podrá superarse en más de 35 ocasiones | 01/01/2005            |

|  |     |                         |            |
|--|-----|-------------------------|------------|
| humana   |     | por año civil           |            |
| Valor límite para la protección de la salud humana | Año | 40 $\mu\text{g m}^{-3}$ | 01/01/2005 |

Tabla I. Resumen de superación de límites en la estación de Campus de Cartuja, durante los años 2006 y 2007.

La figura 12 muestra como el mayor número de días con valores superiores al límite diario para la protección de la salud humana se da en los meses de Mayo a Agosto. Destaca el número de superaciones del año medio en enero y la ausencia de las mismas en el mes de Marzo.

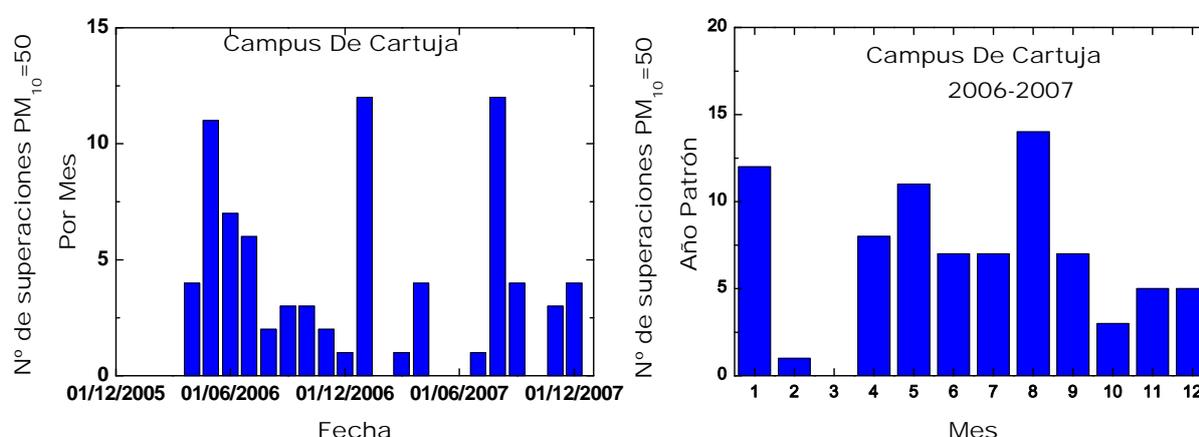


Figura 12. Evolución de superaciones del Valor Límite Diario de PM<sub>10</sub> para los diferentes meses (2006-2007) y patrón promedio de superaciones por meses (2006-2007).

### 3.1.6.2 Estación de tráfico, Granada Norte.

La figura 13 muestra la evolución de los valores diarios registrados en la estación de tráfico, Granada Norte. Aunque los límites legales establecidos son aplicables sólo a partir de 2005, presentamos los resultados para la serie completa de esta estación. La Tabla II, muestra que para cada año analizado el número de días que superan el límite diario para la protección de la salud es superior a 35 y por lo tanto hay superación del valor límite diario en todos los años. También podemos observar que durante los años 2006-2007 el número de días que supera el valor 50  $\mu\text{g/m}^3$  es más alto en la estación de Granada Norte (53 y 119 respectivamente) que en la estación de Campus de Cartuja (38 y 41, respectivamente) (Tabla I). Este hecho marca una diferencia fundamental entre ambas estaciones. De acuerdo al análisis de valores medios anuales, Figura 14, el valor límite anual de 40  $\mu\text{g/m}^3$  se supera en 2005, dándose superaciones adicionales de este criterio en los años 200 y 2001, aunque para ellos no es aplicable la norma legal.

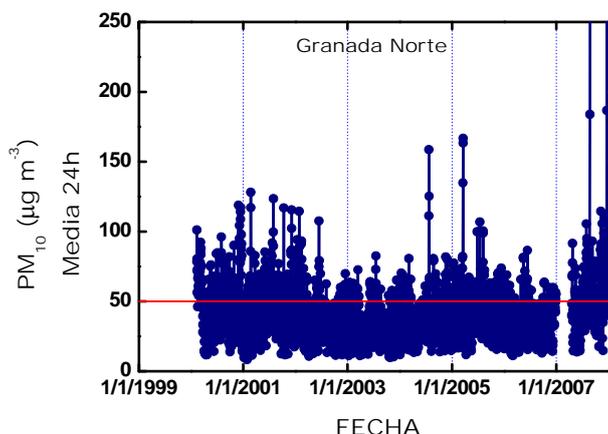


Figura 13. Evolución de valores diarios de  $PM_{10}$  en la estación de Granada Norte.

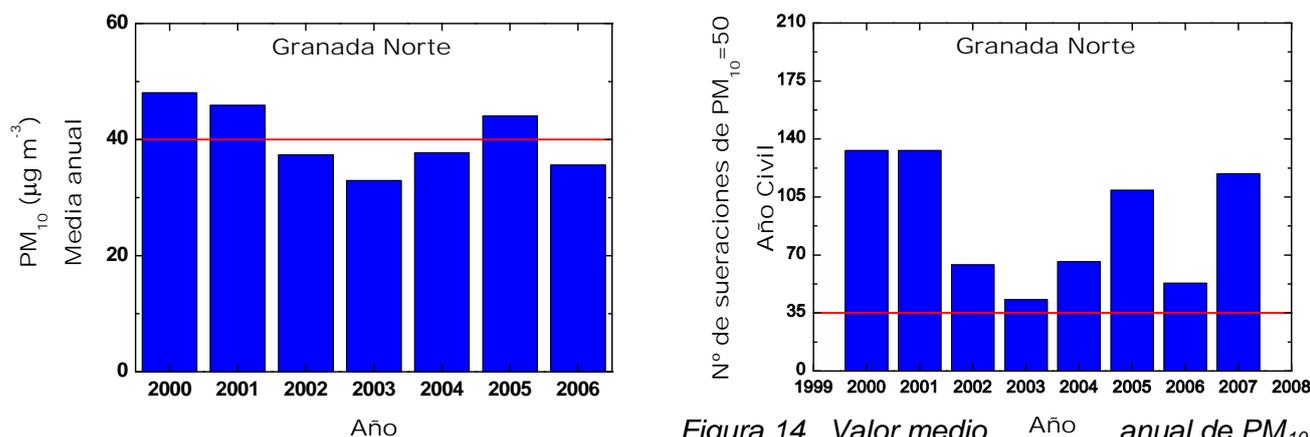


Figura 14. Valor medio anual de  $PM_{10}$  y número de sueraciones del valor límite diario en la estación de Granada Norte.

| Año  | Media 24h                | Año civil               | Superación de Límites |
|------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|
|      | <b>Nº de sueraciones</b> | <b>Superaciones</b>     |                       |
|      | <b>Salud humana (1)</b>  | <b>Salud humana (2)</b> |                       |
| 2000 | 133                      | Si                      | Si (1) y (2)          |
| 2001 | 133                      | Si                      | Si (1) y (2)          |
| 2002 | 64                       | No                      | Si (1)                |
| 2003 | 43                       | No                      | Si (1)                |
| 2004 | 66                       | No                      | Si (1)                |
| 2005 | 109                      | Si                      | Si (1) y (2)          |
| 2006 | 53                       | No                      | Si (1)                |
| 2007 | 119                      | *                       | Si (1)                |

Tabla II. Resumen de superación de límites en la estación de Granada Norte, durante los años 2000 a 2007. (\* No se incluye valoración sobre el valor medio anual, ya que no se dispone de menos del 90% de los datos válidos en 2007).

La figura 15 muestra la variación de superaciones por meses. Especialmente relevante es el patrón de superaciones mensuales evaluado con la serie completa. En él se evidencia el alto número de días en los que se supera el nivel límite diario para todos los meses de año, excepto Abril y Octubre este número supera el valor límite de 35 días, aplicable a todo el año.

### 3.1.6.3. Detección de episodios de transporte Sahariano.

#### 3.1.6.3.1 Campus de Cartuja.

El transporte de polvo mineral desde regiones desérticas en el Norte de África influye de modo relevante en los niveles de  $PM_{10}$ . Según marca la Directiva 99/30/CE, las superaciones del Valor Límite Diario de  $PM_{10}$  causadas por eventos naturales, como las debidas al transporte de polvo desértico, pueden descontarse del número total de superaciones anuales. Para el cálculo del número máximo de superaciones de forma cualitativa basta con identificar el origen de las masas de aire y si la procedencia de las masas de aire, para el día de estudio es norteafricana y además se ha producido una superación del Valor Límite Diario en dicho día, la superación no se tiene en cuenta en el calculo anual de superaciones. Para el calculo del número de superaciones de forma cuantitativa si sigue la metodología desarrollada por Escudero et al. (2007). En este trabajo vamos a utilizar el método cualitativo.

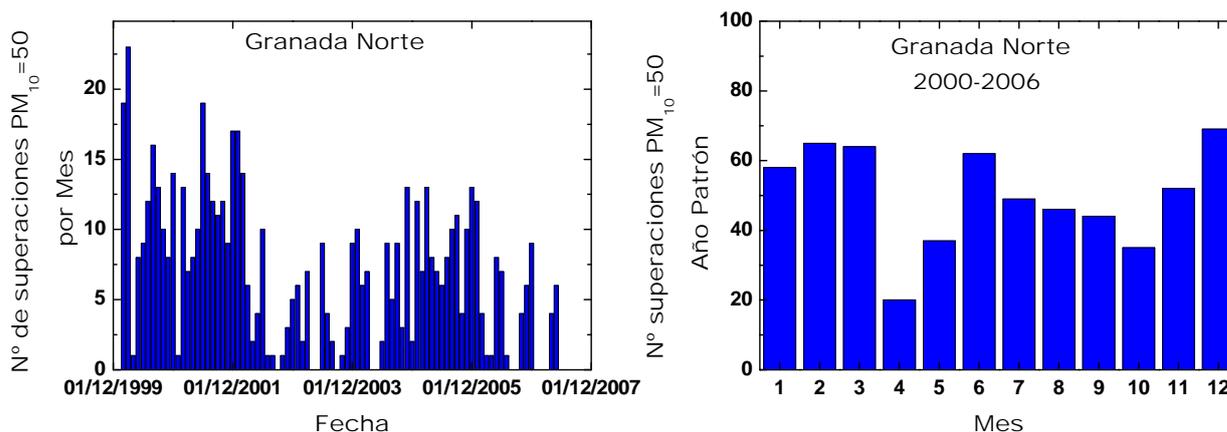


Figura 15. Evolución de superaciones del Valor Límite Diario de  $PM_{10}$  en Granada Norte para los diferentes meses (2000-2007) y patrón promedio de superaciones por meses (2000-2006). (En el último tipo de análisis se ha excluido 2007 dada la ausencia de datos durante el primer trimestre del año y que el número de datos válidos está por debajo del 90%).

| 2006    |                          | Campus de Cartuja<br>(factor de corrección 1) |                               |
|---------|--------------------------|---|-------------------------------|
| MES     | Nº Total de Superaciones | Nº Superaciones Polvo Sahariano               | Nº Superaciones Contaminación |
| ENERO   | 0                        | 0   | 0                             |
| FEBRERO | 0                        | 0   | 0                             |
| MARZO   | 0                        | 0   | 0                             |

|  |                      |    |   |
|--|----------------------|----|---|
| ABRIL                                  | 4                    | 4  | 0 |
| MAYO                                   | 11                   | 10 | 1 |
| JUNIO                                  | 7                    | 7  | 0 |
| JULIO                                  | 6                    | 4  | 2 |
| AGOSTO                                 | 2                    | 2  | 0 |
| SEPTIEMBRE                             | 3                    | 2  | 1 |
| OCTUBRE                                | 3                    | 3  | 0 |
| NOVIEMBRE                              | 2                    | 2  | 0 |
| DICIEMBRE                              | 1                    | 1  | 0 |
| Año 2006                               | 38                   | 34 | 4 |
| PM <sub>10</sub> media anual           | 34 µg/m <sup>3</sup> |    |   |
| Pm <sub>10</sub> Media anual sin polvo | 28 µg/m <sup>3</sup> |    |   |

Tabla III. Identificación de superaciones debidas a transporte de polvo mineral Sahariano, Campus de Cartuja, 2006.

| 2007                                   |                          | Campus de Cartuja<br>(factor de corrección 1) |                               |
|--|--------------------------|---|-------------------------------|
| MES                                    | Nº Total de Superaciones | Nº Superaciones Polvo Sahariano               | Nº Superaciones Contaminación |
| ENERO                                  | 12                       | 6   | 6                             |
| FEBRERO                                | 1                        | 0   | 1                             |
| MARZO                                  | 0                        | 0   | 0                             |
| ABRIL                                  | 4                        | 4   | 0                             |
| MAYO                                   | 0                        | 0   | 0                             |
| JUNIO                                  | 0                        | 0   | 0                             |
| JULIO                                  | 1                        | 1   | 0                             |
| AGOSTO                                 | 12                       | 12  | 0                             |
| SEPTIEMBRE                             | 4                        | 4   | 0                             |
| OCTUBRE                                | 0                        | 0   | 0                             |
| NOVIEMBRE                              | 3                        | 2   | 1                             |
| DICIEMBRE                              | 4                        | 3   | 1                             |
| Año 2007                               | 41                       | 32  | 9                             |
| PM <sub>10</sub> media anual           | 34 µg/m <sup>3</sup>     |   |                               |
| PM <sub>10</sub> Media anual sin polvo | 29 µg/m <sup>3</sup>     |   |                               |

Tabla IV. Identificación de superaciones debidas a transporte de polvo mineral Sahariano, Campus de Cartuja, 2007.



En las Tablas III y IV se muestran mes a mes el número de días con valores superior al límite diario para la protección de la salud humana registrados en Campus de Cartuja que pueden justificarse como causados por transporte de polvo mineral desde el Norte de África, eventos saharianos. Se muestra como en los meses de Mayo-Agosto existe un alto número de superaciones del nivel diario asociadas al transporte a gran distancia de polvo sahariano. Puede observarse como el número de días con niveles superiores al límite permitido que son debidos a causas antropogénicas se ha reducido sensiblemente, de modo que según esto no se produciría superación del valor límite diario para la protección de la salud humana. Por otro lado, la exclusión de los eventos de polvo sahariano del cálculo de las medias anuales implica una reducción de entre 5 y 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , que serían achacables a la contribución anual de mineral sahariano.

### 3.1.6.3.2 Granada Norte.

En las Tablas V, VI y VII se muestran mes a mes el número de días con valores de  $\text{PM}_{10}$  por encima del valor límite diario para la protección de la salud humana desglosando los casos explicables por evento sahariano y los debidos a causas antropogénicas. Los casos en los que se rebasa el valor límite se reparten casi al 50% entre los de causa antropogénica y los debidos a eventos saharianos. Aún así, hay superación del valor límite diario en los años 2006 y 2007, este último con sólo nueve meses de datos válidos. En el año 2005, la atribución de causas lleva a que no se produzca superación del límite diario por causas antropogénicas. Los valores medios anuales se han re-evaluado con la exclusión de los días afectados por el transporte de polvo sahariano, lo cual hace que el año 2005 no presente la superación del valor límite anual que se producía al no distinguir entre valores por encima del límite diario debidos a causas antropogénicas y de transporte a gran distancia. El carácter de estación de tráfico se evidencia en el hecho de que los días con valore mayores que el máximo diario imputables a causas antropogénicas sea entre 6 y 7 veces mayor que el que se da en la estación de fondo urbano.

| 2005       |                          | Granada Norte<br>(factor de corrección 1) |                               |
|------------|--------------------------|---|-------------------------------|
| MES        | Nº Total de Superaciones | Nº Superaciones Polvo Sahariano           | Nº Superaciones Contaminación |
| ENERO      | 12                       | 0   | 12                            |
| FEBRERO    | 7                        | 0   | 7                             |
| MARZO      | 13                       | 10  | 3                             |
| ABRIL      | 8                        | 5   | 3                             |
| MAYO       | 7                        | 6   | 1                             |
| JUNIO      | 6                        | 5   | 1                             |
| JULIO      | 8                        | 5   | 3                             |
| AGOSTO     | 10                       | 5   | 5                             |
| SEPTIEMBRE | 11                       | 4   | 7                             |
| OCTUBRE    | 4                        | 1   | 3                             |
| NOVIEMBRE  | 10                       | 3   | 7                             |
| DICIEMBRE  | 13                       | 1   | 12                            |
| Año 2005   | 109                      | 45  | 64                            |

|  |                      |  |  |
|--|----------------------|--|--|
| PM <sub>10</sub> media anual           | 44 µg/m <sup>3</sup> |  |  |
| Pm <sub>10</sub> Media anual sin polvo | 40 µg/m <sup>3</sup> |  |  |

Tabla V. Identificación de superaciones debidas a transporte de polvo mineral Sahariano, Granada Norte, 2005.

| 2006                                   |                          | Granada Norte<br>(factor de corrección 1) |                               |
|--|--------------------------|---|-------------------------------|
| MES                                    | Nº Total de Superaciones | Nº Superaciones Polvo Sahariano           | Nº Superaciones Contaminación |
| ENERO                                  | 12                       | 0   | 12                            |
| FEBRERO                                | 4                        | 1   | 3                             |
| MARZO                                  | 1                        | 0   | 1                             |
| ABRIL                                  | 1                        | 1   | 0                             |
| MAYO                                   | 8                        | 8   | 0                             |
| JUNIO                                  | 7                        | 7   | 0                             |
| JULIO                                  | 1                        | 1   | 0                             |
| AGOSTO                                 | 0                        | 0   | 0                             |
| SEPTIEMBRE                             | 0                        | 0   | 0                             |
| OCTUBRE                                | 4                        | 3   | 1                             |
| NOVIEMBRE                              | 6                        | 3   | 3                             |
| DICIEMBRE                              | 9                        | 4   | 5                             |
| Año 2005                               | 53                       | 28  | 25                            |
| PM <sub>10</sub> media anual           | 36 µg/m <sup>3</sup>     |   |                               |
| Pm <sub>10</sub> Media anual sin polvo | 32 µg/m <sup>3</sup>     |   |                               |

Tabla VI. Identificación de superaciones debidas a transporte de polvo mineral Sahariano, Granada Norte, 2006.

| 2007    |                          | Granada Norte<br>(factor de corrección 1) |                               |
|---------|--------------------------|---|-------------------------------|
| MES     | Nº Total de Superaciones | Nº Superaciones Polvo Sahariano           | Nº Superaciones Contaminación |
| ENERO   | ND                       | ND  | ND                            |
| FEBRERO | ND                       | ND  | ND                            |
| MARZO   | ND                       | ND  | ND                            |
| ABRIL   | 4                        | 4   | 0                             |
| MAYO    | 7                        | 3   | 4                             |
| JUNIO   | 5                        | 3   | 2                             |
| JULIO   | 13                       | 11  | 2                             |
| AGOSTO  | 16                       | 14  | 2                             |

|  |     |    |    |
|--|-----|----|----|
| SEPTIEMBRE                             | 18  | 9  | 9  |
| OCTUBRE                                | 11  | 3  | 8  |
| NOVIEMBRE                              | 21  | 4  | 17 |
| DICIEMBRE                              | 24  | 4  | 20 |
| Año 2005                               | 119 | 55 | 64 |
| PM <sub>10</sub> media anual           | NV  |    |    |
| Pm <sub>10</sub> Media anual sin polvo | NV  |    |    |

*Tabla VII. Identificación de superaciones debidas a transporte de polvo mineral Sahariano, Granada Norte, 2007.*

### 3.1.7 Superaciones de los límites establecidos por la legislación, aplicando factor de corrección por defecto (1.3).

#### 3.1.7.1 Estación de fondo urbano, Campus de Cartuja.

De acuerdo con la directiva Directiva 199/30/CE las medidas de los niveles de  $PM_{10}$  obtenidas con equipos automáticos, como los operados en la Red de Vigilancia de Calidad del Aire de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, deben compararse, siguiendo las directrices de la normativa EN12341, con las obtenidas mediante equipos manuales de  $PM_{10}$  de referencia basados en técnicas gravimétricas para la determinación de los niveles de  $PM_{10}$ . Para el presente estudio no se dispone de esas comparaciones, que, además, han de realizarse un par de veces al año en periodos estacionales distintos. Por ello siguiendo las normas marcadas en la citada Directiva 199/30/CE se ha aplicado un factor de corrección de seguridad de 1.3 tanto para medidas obtenidas con equipos TEOM como con técnicas de atenuación beta. Este valor de corrección de seguridad está en el límite superior de los obtenidos en pruebas realizadas en diversas estaciones europeas. Hay que señalar que los valores típicos de este factor suelen quedar bastante por debajo de 1.3, por lo que es muy aconsejable que las redes de calidad realicen periódicamente las pruebas de comparación y puedan aplicar sus propios factores de corrección, de otro modo las medidas ópticas son altamente penalizadas y como veremos las superaciones de los límites aumentan ostensiblemente.

A continuación presentamos el análisis de superaciones de los límites legales establecidos para los niveles de  $PM_{10}$ , aplicando el factor de corrección de 1.3. La figura 16 muestra la evolución de los valores diarios registrados en la estación de Campus de Cartuja corregidos por el factor de corrección 1.3. De acuerdo a la Tabla VIII, en 2006 el valor diario permitido,  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , se supera en 111 ocasiones, mientras que en 2007 lo hace en 92 ocasiones. Por lo tanto, en ambos años hay más de 35 días con valores superiores al límite legal y por lo tanto hay superación del valor límite diario.

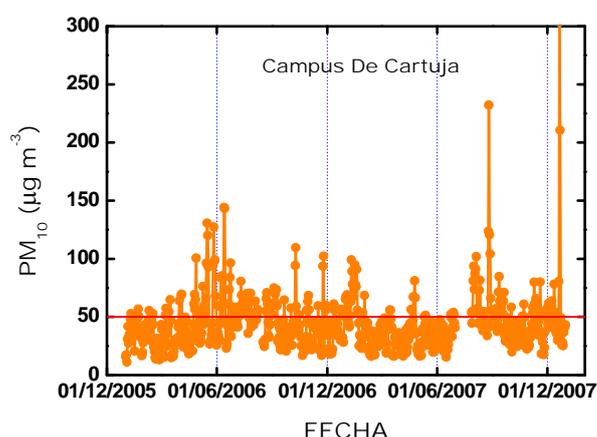


Figura 16. Evolución de valores diarios de  $PM_{10}$  en la estación de Campus de Cartuja. (Factor de corrección 1.3).

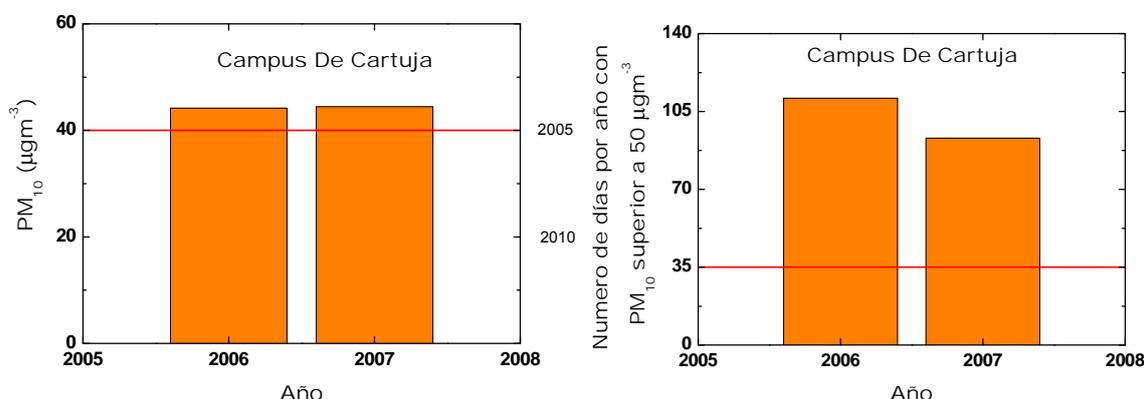
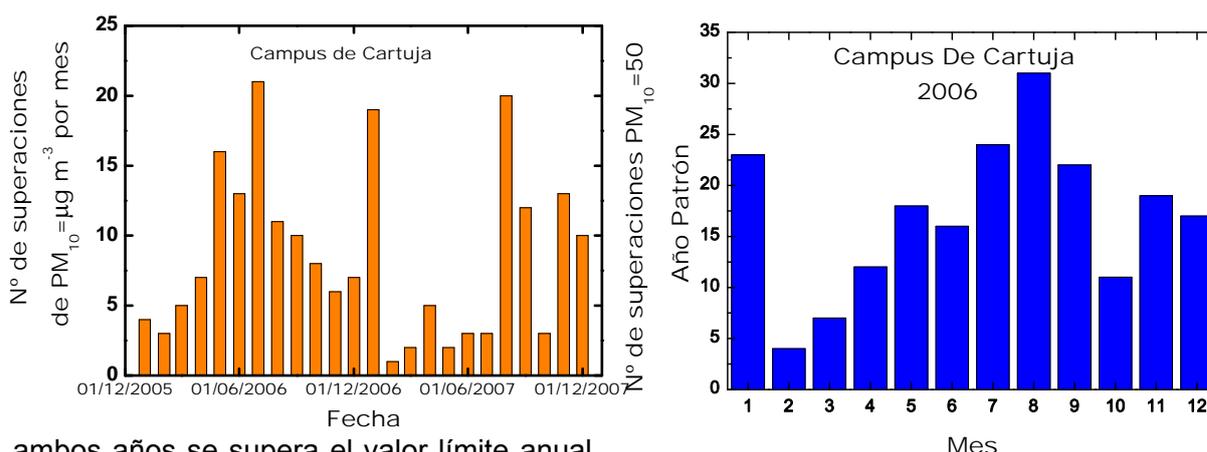


Figura 17. Valor medio anual de  $PM_{10}$  y número de superaciones del valor límite diario en la estación de Campus de Cartuja. (Factor de corrección 1.3).

En la figura 17 mostramos la evolución de los valores medios anuales obtenidos en la estación de Campus de Cartuja corregidos por el factor 1.3. Como podemos observar, en



ambos años se supera el valor límite anual  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Por lo tanto, aplicando el factor de corrección 1.3 se superan ambos valores límites en ambos años, *Tabla VIII*.

Figura 18. Evolución de superaciones del Valor Límite Diario de  $PM_{10}$  en Campus de Cartuja para los diferentes meses (2006-2007) y patrón promedio de superaciones por meses (2006-2007). (Factor de Corrección 1.3)

Las superaciones diarias se incrementan para los meses de verano de una manera muy marcada (Figura 18).

| Año  | Media 24h          | Año civil        | Superación de Límites |
|------|--------------------|------------------|-----------------------|
|      | Nº de superaciones | Superaciones     |                       |
|      | Salud humana (1)   | Salud humana (2) |                       |
| 2006 | 111                | Si               | Si (1) y (2)          |
| 2007 | 92                 | Si               | Si (1) y (2)          |

Tabla VIII. Resumen de superación de límites en la estación de Campus de Cartuja, durante los años 2006 y 2007. (Factor de corrección 1.3)

### 3.1.7.2 Granada Norte.

Al aplicar el factor de seguridad 1.3 a la estación de Granada Norte se produce un drástico aumento de superaciones del valor límite diario, Figura 19. Esto lleva a que en todos los años se supere el valor límite anual y a que el número de días con valor por encima del valor límite diario exceda del centenar en casi todos los años. Destacamos en este sentido que este resultado muestra la conveniencia de que se realicen comparaciones periódicas de los equipos ópticos con equipos gravimétricos. En caso contrario la obligación de aplicar el factor de corrección de seguridad dispara el número de días que incumplen los límites legales y fácilmente se puede llegar a rebasar el límite anual.

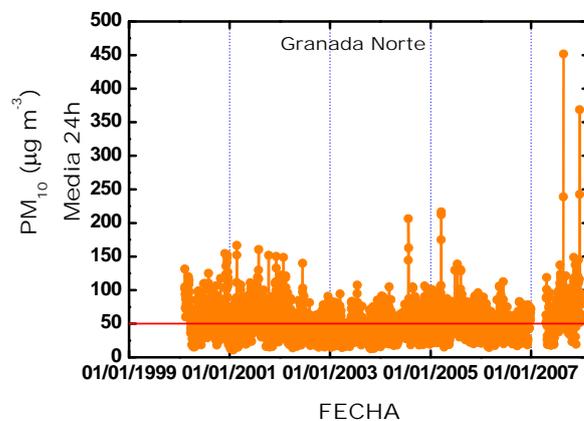


Figura 19.

diarios de  $PM_{10}$  en la estación de Granada Norte.

Evolución de valores

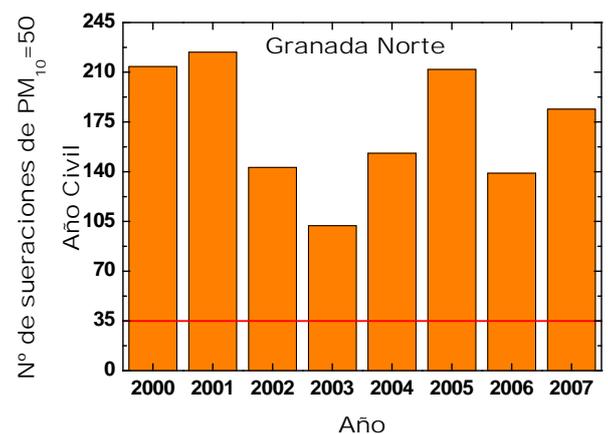
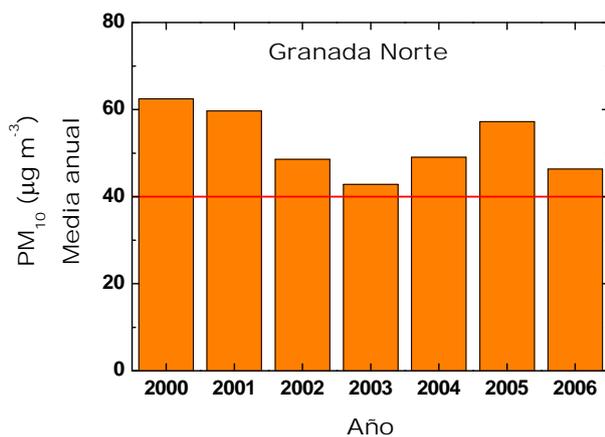


Figura 20. Valor medio anual de  $PM_{10}$  y número de superaciones del valor límite diario en la estación de Granada Norte. (Factor de corrección 1.3)

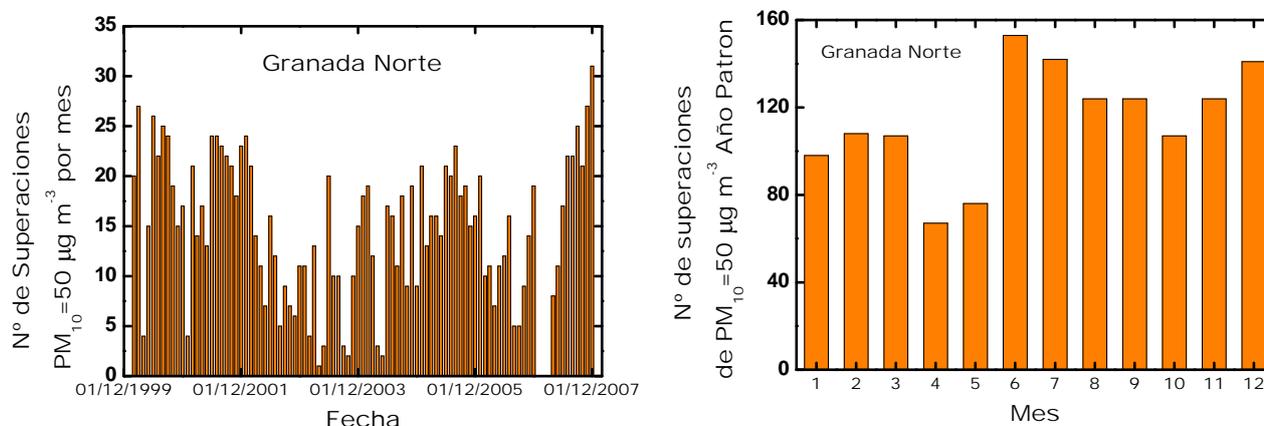


Figura 21. Evolución de superaciones del Valor Límite Diario de PM<sub>10</sub> en Granada Norte para los diferentes meses (2000-2007) y patrón promedio de superaciones por meses (2000-2006). (En el último tipo de análisis se ha excluido 2007 dada la ausencia de datos durante el primer trimestre del año y que el número de datos válidos está por debajo del 90%). (Factor de corrección 1.3)

La figura 21 muestra como el número de días con valores superiores al límite diario para la protección de la salud humana es realmente alto tanto en los meses de verano como en los de invierno.

| Año         | Media 24h                 | Año civil               | Superación de Límites |
|-------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|
|             | <b>Nº de superaciones</b> | <b>Superaciones</b>     |                       |
|             | <b>Salud humana (1)</b>   | <b>Salud humana (2)</b> |                       |
| <b>2000</b> | <b>214</b>                | <b>Si (2005 y 2010)</b> | <b>Si (1) y (2)</b>   |
| <b>2001</b> | <b>224</b>                | <b>Si (2005 y 2010)</b> | <b>Si (1) y (2)</b>   |
| <b>2002</b> | <b>143</b>                | <b>Si (2005 y 2010)</b> | <b>Si (1) y (2)</b>   |
| <b>2003</b> | <b>102</b>                | <b>Si (2005 y 2010)</b> | <b>Si (1) y (2)</b>   |
| <b>2004</b> | <b>153</b>                | <b>Si (2005 y 2010)</b> | <b>Si (1) y (2)</b>   |
| <b>2005</b> | <b>212</b>                | <b>Si (2005 y 2010)</b> | <b>Si (1) y (2)</b>   |
| <b>2006</b> | <b>139</b>                | <b>Si (2005 y 2010)</b> | <b>Si (1) y (2)</b>   |
| <b>2007</b> | <b>184</b>                | <b>Si (2005 y 2010)</b> | <b>Si (1) y (2)</b>   |

Tabla IX. Resumen de superación de límites en la estación de Granada Norte, durante los años 2000 a 2007. (\* No se incluye valoración sobre el valor medio anual, ya que no se dispone de menos del 90% de los datos válidos en 2007). (factor 1.3)

### 3.1.7.3. Detección de episodios de transporte Sahariano, aplicando factor de corrección 1.3.

#### 3.1.7.3.1 Campus de Cartuja.

Como en el análisis realizado sin aplicar factor de corrección procedemos a continuación a presentar los resultados de detección de los días cuya superación se puede justificar como debida a eventos saharianos. En las Tablas X y XI se muestran mes a mes el número de casos de superación en la estación de Campus de Cartuja cuya causa puede justificarse por transporte de polvo mineral desértico. También se muestran los valores medios anuales excluyendo los días con evento sahariano. Podemos observar que descartando los días con aportaciones de polvo no se supera el valor límite anual de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en ambos años. El número de días en los que se supera el valor límite diario de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por causas antropogénicas es de 37 y 35 en los años 2006 y 2007, respectivamente, por lo que se produciría la superación del límite diario para la protección de la salud humana.

| 2006                                   |                             | Campus de Cartuja<br>(factor de corrección 1.3) |                               |
|--|-----------------------------|---|-------------------------------|
| MES                                    | Nº Total de Superaciones    | Nº Superaciones Polvo Sahariano                 | Nº Superaciones Contaminación |
| ENERO                                  | 4                           | 0   | 4                             |
| FEBRERO                                | 3                           | 0   | 3                             |
| MARZO                                  | 5                           | 0   | 5                             |
| ABRIL                                  | 7                           | 7   | 0                             |
| MAYO                                   | 16                          | 4   | 2                             |
| JUNIO                                  | 13                          | 12  | 1                             |
| JULIO                                  | 21                          | 16  | 5                             |
| AGOSTO                                 | 11                          | 6   | 5                             |
| SEPTIEMBRE                             | 10                          | 5   | 5                             |
| OCTUBRE                                | 8                           | 7   | 1                             |
| NOVIEMBRE                              | 6                           | 4   | 2                             |
| DICIEMBRE                              | 7                           | 3   | 4                             |
| Año 2006                               | 111                         | 64  | 37                            |
| PM <sub>10</sub> media anual           | 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |   |                               |
| Pm <sub>10</sub> Media anual sin polvo | 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |   |                               |

Tabla X. Identificación de superaciones debidas a transporte de polvo mineral Sahariano, Campus de Cartuja, 2006. (Factor de corrección 1.3).

| 2007                                   |                          | Campus de Cartuja<br>(factor de corrección 1.3) |                               |
|--|--------------------------|---|-------------------------------|
| MES                                    | Nº Total de Superaciones | Nº Superaciones Polvo Sahariano                 | Nº Superaciones Contaminación |
| ENERO                                  | 19                       | 9   | 10                            |
| FEBRERO                                | 1                        | 0   | 1                             |
| MARZO                                  | 2                        | 2   | 0                             |
| ABRIL                                  | 5                        | 5   | 0                             |
| MAYO                                   | 1                        | 1   | 0                             |
| JUNIO                                  | 3                        | 2   | 1                             |
| JULIO                                  | 3                        | 3   | 0                             |
| AGOSTO                                 | 20                       | 18  | 2                             |
| SEPTIEMBRE                             | 12                       | 9   | 3                             |
| OCTUBRE                                | 3                        | 1   | 2                             |
| NOVIEMBRE                              | 13                       | 4   | 9                             |
| DICIEMBRE                              | 10                       | 3   | 7                             |
| Año 2007                               | 92                       | 57  | 35                            |
| PM <sub>10</sub> media anual           | 44 µg/m <sup>3</sup>     |   |                               |
| Pm <sub>10</sub> Media anual sin polvo | 37 µg/m <sup>3</sup>     |   |                               |

*Tabla XI. Identificación de superaciones debidas a transporte de polvo mineral Sahariano, Campus de Cartuja, 2007. (Factor de corrección 1.3).*

### 3.1.7.3.2 Granada Norte.

En las Tablas XII a XIV se muestran mes a mes el número de casos de superación en la estación de Granada Norte cuya causa puede justificarse por transporte de polvo mineral desértico, eventos saharianos. Se ve que el número de casos de superación del límite diario imputables a eventos saharianos está en el rango 60-85. Aún así, el número de superaciones del límite diario con causa antropogénica sigue siendo muy elevado y altamente variable de un año a otro. En todos los años el número de días que superan el valor diario de 50 µg/m<sup>3</sup> es mayor de 35 por lo que se da superación del límite diario para la protección de la salud humana.

| 2005                                   |                          | Granada Norte<br>(factor de corrección 1.3) |                               |
|--|--------------------------|---|-------------------------------|
| MES                                    | Nº Total de Superaciones | Nº Superaciones Polvo Sahariano             | Nº Superaciones Contaminación |
| ENERO                                  | 21                       | 0   | 21                            |
| FEBRERO                                | 13                       | 2   | 11                            |
| MARZO                                  | 16                       | 10  | 6                             |
| ABRIL                                  | 16                       | 5   | 11                            |
| MAYO                                   | 14                       | 11  | 3                             |
| JUNIO                                  | 21                       | 10  | 11                            |
| JULIO                                  | 20                       | 6   | 14                            |
| AGOSTO                                 | 23                       | 7   | 16                            |
| SEPTIEMBRE                             | 18                       | 6   | 12                            |
| OCTUBRE                                | 19                       | 3   | 16                            |
| NOVIEMBRE                              | 15                       | 3   | 12                            |
| DICIEMBRE                              | 16                       | 1   | 15                            |
| Año 2007                               | 212                      | 64  | 148                           |
| PM <sub>10</sub> media anual           | 57 µg/m <sup>3</sup>     |   |                               |
| Pm <sub>10</sub> Media anual sin polvo | 52 µg/m <sup>3</sup>     |   |                               |

*Tabla XII. Identificación de superaciones debidas a transporte de polvo mineral Sahariano, Granada Norte, 2005. (Factor de corrección 1.3).*

En las Tablas XII a XIV se muestran los valores medios anuales excluyendo los días con evento sahariano. Tal exclusión representa una reducción de entre 4 y 5 µg/m<sup>3</sup> del valor promedio anual, que aún así sigue rebasando los límites legales para la protección de la salud humana.

| 2006                                   |                          | Granada Norte<br>(factor de corrección 1.3) |                               |
|--|--------------------------|---|-------------------------------|
| MES                                    | Nº Total de Superaciones | Nº Superaciones Polvo Sahariano             | Nº Superaciones Contaminación |
| ENERO                                  | 20                       | 20  | 0                             |
| FEBRERO                                | 10                       | 2   | 8                             |
| MARZO                                  | 11                       | 0   | 11                            |
| ABRIL                                  | 7                        | 7   | 0                             |
| MAYO                                   | 11                       | 10  | 1                             |
| JUNIO                                  | 12                       | 12  | 0                             |
| JULIO                                  | 16                       | 12  | 4                             |
| AGOSTO                                 | 5                        | 2   | 3                             |
| SEPTIEMBRE                             | 5                        | 3   | 2                             |
| OCTUBRE                                | 9                        | 7   | 2                             |
| NOVIEMBRE                              | 14                       | 4   | 10                            |
| DICIEMBRE                              | 19                       | 5   | 14                            |
| Año 2006                               | 139                      | 84  | 55                            |
| PM <sub>10</sub> media anual           | 46 µg/m <sup>3</sup>     |   |                               |
| Pm <sub>10</sub> Media anual sin polvo | 42 µg/m <sup>3</sup>     |   |                               |

Tabla XIII. Identificación de superaciones debidas a transporte de polvo mineral Sahariano, Granada Norte, 2006. (Factor de corrección 1.3).

| 2007       |                          | Granada Norte(factor de corrección 1.3) |                               |
|------------|--------------------------|---|-------------------------------|
| MES        | Nº Total de Superaciones | Nº Superaciones Polvo Sahariano         | Nº Superaciones Contaminación |
| ENERO      | -                        | -                                       | -                             |
| FEBRERO    | -                        | -                                       | -                             |
| MARZO      | -                        | --                                      | --                            |
| ABRIL      | 8                        | 7                                       | 1                             |
| MAYO       | 11                       | 5                                       | 6                             |
| JUNIO      | 17                       | 7                                       | 10                            |
| JULIO      | 22                       | 18                                      | 4                             |
| AGOSTO     | 22                       | 15                                      | 7                             |
| SEPTIEMBRE | 25                       | 15                                      | 10                            |
| OCTUBRE    | 21                       | 4                                       | 17                            |
| NOVIEMBRE  | 27                       | 4                                       | 23                            |
| DICIEMBRE  | 31                       | 6                                       | 25                            |
| Año 2007   | 184                      | 81                                      | 103                           |

|  |    |  |  |
|--|----|--|--|
| PM <sub>10</sub> media anual           | NV |  |  |
| Pm <sub>10</sub> Media anual sin polvo | NV |  |  |

Tabla XIV. Identificación de superaciones debidas a transporte de polvo mineral Sahariano, Granada Norte, 2007. (Factor de corrección 1.3).

### 3.2 Estudio de la concentración de SO<sub>2</sub>.

#### 3.2.1 Superaciones de los límites establecidos por la legislación.

##### 3.2.1.1 Estación de fondo urbano, Campus de Cartuja.

Como se deduce de la Tabla XV no hay superaciones de los límites establecidos para las concentraciones de SO<sub>2</sub> en la estación de fondo urbano ubicada en Campus de Cartuja.

| Año         | Media 1h           |        | Media 24h          | Superación de Límites |
|-------------|--------------------|--------|--------------------|-----------------------|
|             | Nº de superaciones |        | Nº de superaciones |                       |
|             | Salud humana       | Alerta | Salud humana       |                       |
| 2006 y 2007 | 0                  | 0      | 0                  | No                    |

| Límite   | Periodo          | Valor limite   | Fecha de cumplimiento |
|--|------------------|--|-----------------------|
| Valor límite horario para la protección de la salud humana | 1 h              | 350 $\mu\text{g m}^{-3}$ , valor que no podrá superarse en más de 24 ocasiones por año civil | 01/01/2005            |
| Umbral de Alerta a la población                            | 3 h consecutivas | 500 $\mu\text{g m}^{-3}$   | 19/07/1999            |
| Valor límite horario para la protección de la salud humana | 24               | 125 $\mu\text{g m}^{-3}$ , valor que no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año civil  | 01/01/2005            |

Tabla XV. Resumen de superaciones de límite de SO<sub>2</sub> en la estación Campus de Cartuja.

##### 3.2.1.2 Estación Granada Norte.

Como se deduce de la Tabla XVI no hay superaciones de los límites establecidos para las concentraciones de SO<sub>2</sub> en la estación de tráfico ubicada en Granada Norte.

| Año | Media 1h           |        | Media 24h          | Superación de Límites |
|-----|--------------------|--------|--------------------|-----------------------|
|     | Nº de superaciones |        | Nº de superaciones |                       |
|     | Salud              | Alerta | Salud humana       |                       |
|     |                    |        |                    |                       |



|                 |        |   |   |    |
|-----------------|--------|---|---|----|
|                 | humana |   |   |    |
| 2000 hasta 2007 | 0      | 0 | 0 | No |

Tabla XVI. Resumen de superaciones de límite de SO<sub>2</sub> en la estación Granada Norte.

### 3.3 Estudio de la concentración de NO<sub>2</sub>.

#### 3.3.1 Superaciones de los límites establecidos por la legislación vigente.

##### 3.3.1.1 Estación de fondo urbano, Campus de Cartuja.

Como se deduce de la Tabla XVII no hay superaciones de los límites establecidos para las concentraciones de NO<sub>2</sub> en la estación de fondo urbano de Campus de Cartuja.

| Año         | Media 1h     | Media anual        | Media anual  |              | Superación Límites |
|-------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|--------------------|
|             | Superaciones | Superaciones       | Superaciones | Superaciones |                    |
|             | Alerta       | Salud humana (P98) | Guía P98     | Guía P50     |                    |
| 2006 y 2007 | 0            | No                 | No           | No           | No                 |

| Límite                       | Periodo          | Valor límite           | Fecha de cumplimiento |
|------------------------------|------------------|------------------------|-----------------------|
| Percentil 98                 | Año              | 200 µg m <sup>-3</sup> | vigente               |
| Umbral Alerta a la población | 3 h consecutivas | 400 µg m <sup>-3</sup> | 19/07/1999            |
| Valor guía (P50)             | Año              | 50 µg m <sup>-3</sup>  | 01/01/2010            |
| Valor guía (P98)             | Año              | 135 µg m <sup>-3</sup> | 01/01/2010            |

Tabla XVII. Resumen de superaciones de límite de NO<sub>2</sub> en la estación Campus de Cartuja.

##### 3.3.1.2 Estación Granada Norte.

Como se deduce de la figura 25 y de la Tabla XVIII no hay superaciones de los límites establecidos para las concentraciones de NO<sub>2</sub> en la estación de tráfico de Granada Norte.

| Año             | Media 1h     | Media anual        | Media anual  |              | Superación Límites |
|-----------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|--------------------|
|                 | Superaciones | Superaciones       | Superaciones | Superaciones |                    |
|                 | Alerta       | Salud humana (P98) | Guía P98     | Guía P50     |                    |
| 2000 hasta 2007 | 0            | No                 | No           | No           | No                 |

Tabla XVIII. Resumen de superaciones de límite de NO<sub>2</sub> en la estación Granada Norte.



### 3.3.2 .Superaciones de los límites establecidos por la legislación de próxima aplicación.

#### 3.3.2.1 Estación de fondo urbano, Campus de Cartuja.

Como se deduce de la Tabla XIX no hay superaciones de los límites de próxima aplicación para las concentraciones de NO<sub>2</sub> en la estación de Campus de Cartuja.

| Año         | Media 1h           |                  | Media anual      | Superación Límites |
|-------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------|
|             | Nº de superaciones |                  | Superaciones     | Media 1h           |
|             | Alerta             | Salud Humana (1) | Salud Humana (2) |                    |
| 2006 y 2007 | 0                  | 0                | No               | No                 |

Tabla XIX. Resumen de superaciones de límite de próxima aplicación de NO<sub>2</sub> en la estación Campus de Cartuja.

#### 3.3.2.2 Estación Granada Norte.

Como se deduce de la Tabla XX si habría superaciones de los límites de próxima aplicación para las concentraciones de NO<sub>2</sub> en la estación de tráfico de Granada Norte.

| Año  | Media 1h           |                  | Media anual         | Superación Límites |
|------|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|
|      | Nº de superaciones |                  | Superaciones        | Media 1h           |
|      | Alerta             | Salud humana (1) | Salud Human (2)     |                    |
| 2000 | 0                  | 0                | No (2005) Si (2010) | No                 |
| 2001 | 0                  | 0                | No (2005) Si (2010) | No                 |
| 2002 | 0                  | 0                | No (2005) Si (2010) | No                 |
| 2003 | 0                  | 0                | No (2005) Si (2010) | No                 |
| 2004 | 0                  | 0                | No (2005) Si (2010) | No                 |
| 2005 | 0                  | 0                | No (2005) Si (2010) | No                 |
| 2006 | 0                  | 0                | No (2005) Si (2010) | No                 |
| 2007 | 0                  | 1 (2010)         | No (2005) Si (2010) | No                 |

Tabla XX. Resumen de superaciones de límite de próxima aplicación de NO<sub>2</sub> en la estación Granada Norte.

### 3.4 Estudio de la concentración CO.

#### 3.4.1 .Superaciones de los límites establecidos por la legislación vigente.

##### 3.4.1.1 Estación de fondo urbano, Campus de Cartuja.

Como se deduce de la Tabla XXI no hay superaciones de los límites vigentes para las concentraciones de CO en la estación de Campus de Cartuja.



| Año         | Máxima media 8 diaria | Superación de Límites |
|-------------|-----------------------|-----------------------|
|             | Nº de superaciones    |                       |
|             | Salud humana          |                       |
| 2006 y 2007 | 0                     | No                    |

| Límite   | Periodo          | Valor limite   | Fecha de cumplimiento |
|--|------------------|--|-----------------------|
| Valor límite horario para la protección de la salud humana | 1 hora           | 200 µg m <sup>-3</sup> , que no podrá superarse en más de 18 ocasiones por año civil | 01/01/2010            |
| Umbral Alerta a la población                               | 3 h consecutivas | 400 µg m <sup>-3</sup>   | 19/07/1999            |
| Valor límite para la protección de la salud humana         | año              | 40 µg m <sup>-3</sup>  | 01/01/2010            |

Tabla XXI. Resumen de superaciones de límite de CO en la estación Campus de Cartuja.

### 3.4.1.2 Estación de tráfico, Granada Norte.

Como se deduce de la Tabla XXII no hay superaciones de los límites de vigentes para las concentraciones de CO en la estación de Granada Norte.

| Año             | Máxima media 8 diaria | Superación de Límites |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|
|                 | Nº de superaciones    |                       |
|                 | Salud humana          |                       |
| 2000 hasta 2007 | 0                     | No                    |

Tabla XXII. Resumen de superaciones de límite de CO en Campus de Cartuja.

### 3.5 Estudio de la concentración de O<sub>3</sub>.

#### 3.5.1 Superaciones de los límites establecidos por la legislación vigente.

##### 3.5.1.1 Estación de fondo urbano, Campus de Cartuja.

Como se deduce de la Tabla XXIII se ha superado el límite objetivo de concentración de O<sub>3</sub> para la protección de la salud humana en 19 ocasiones en 2006 y en 4 ocasiones en 2007. Las superaciones han tenido lugar en los meses de Mayo a Agosto. Dado que el número de superaciones por año ha sido inferior a 25 no se ha producido superación de acuerdo al criterio establecido en la legislación vigente.

| Año  | Media 1h           |        | Media 8h           | Superación Límites |
|------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|
|      | Nº de superaciones |        | Nº de superaciones |                    |
|      | Salud humana       | Alerta | Salud humana       |                    |
| 2006 | 0                  | 0      | 19                 | No                 |
| 2007 | 0                  | 0      | 4                  | No                 |



| Límite  | Periodo | Valor limite   | Fecha de cumplimiento |
|---|---------|--|-----------------------|
| Valor límite horario para la información a la población | 1 h     | 180 $\mu\text{g m}^{-3}$   | 09/09/2005            |
| Umbral Alerta a la población                            | 1 h     | 240 $\mu\text{g m}^{-3}$   | 09/09/2003            |
| Valor objetivo para la protección de la salud humana    | 8 h     | 120 $\mu\text{g m}^{-3}$ , valor que no podrá superarse en más de 25 ocasiones por año civil | 01/01/2010            |

*Tabla XXIII. Resumen de superaciones de límite de  $\text{O}_3$  en la estación Campus de Cartuja.*

### 3.5.1.2 Estación de tráfico, Granada Norte.

Como se deduce de la figura 23 y de la Tabla XXIV se ha superado el límite objetivo de concentración de  $\text{O}_3$  para la protección de la salud humana en 6 ocasiones en 2004, en 1 ocasión en 2005, en 4 ocasiones en 2006 y en 1 ocasión en 2007. Las superaciones han tenido lugar en los meses de verano. Dado que el número de superaciones por año ha sido inferior a 25 no se ha producido superación de acuerdo al criterio establecido en la legislación vigente.

| Año       | Media 1h           |        | Media 8h           | Superación Límites |
|-----------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|
|           | Nº de superaciones |        | Nº de superaciones |                    |
|           | Salud humana       | Alerta | Salud humana       |                    |
| 2000-2004 | 0                  | 0      | 0                  | No                 |
| 2005      | 0                  | 0      | 1                  | No                 |
| 2006      | 0                  | 0      | 4                  | No                 |
| 2007      | 0                  | 0      | 1                  | No                 |

*Tabla XXIV. Resumen de superaciones de límite de  $\text{O}_3$  en la estación Granada Norte.*

Por otro lado, del análisis de los patrones estacionales, diarios y semanales de estos gases se deducen estas conclusiones. En ambas estaciones, el  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  poseen un evidente patrón anual con máximos en los meses de invierno y mínimos en verano. Por otro lado, el  $\text{O}_3$  muestra un diferente comportamiento estacional, con valores máximos en verano y mínimos en invierno en ambas estaciones. Las mayores concentraciones de  $\text{O}_3$  en verano están relacionadas con la mayor incidencia de la radiación solar en esta época, lo que favorece las reacciones fotoquímicas que producen  $\text{O}_3$ . Hay que destacar que las concentraciones de  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  han sido más altas en la estación de Granada Norte, mientras que la concentración de  $\text{O}_3$  es más alta en la estación de fondo urbano, Campus de Cartuja. Esto está posiblemente relacionado con los procesos de destrucción de  $\text{O}_3$  por  $\text{NO}$ , que como hemos mencionado antes presenta concentraciones más altas en la estación de tráfico de Granada Norte. Por otro lado, ambas estaciones, la concentración de los gases  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  muestra un evidente patrón semanal y diario con concentraciones más bajas en los fines de semana.



y dos máximas durante el día que coincide con la rachas de tráfico. Este resultado muestra claramente la influencia de las actividades debidas al tráfico, construcción y demolición) sobre los niveles de estos gases. Por otro lado, la concentración de ozono es más alta en los días de fines de semana en ambas estaciones. Esto esta relacionado con los procesos de destrucción de ozono que son menos favorables en los días de fines de semana. En ambas estaciones, las máximas concentraciones de ozono es se observan entorno a las 15-16 horas, favoreciéndose su formación a partir de la mayor incidencia de la radiación solar.

#### 4. CONCLUSIONES

Se analizan los datos de la red de calidad del aire que la Junta de Andalucía tiene en operación en la ciudad de Granada. Este núcleo urbano se caracteriza por un tráfico denso y la ausencia de grandes industrias contaminantes. Para el estudio se han seleccionado dos estaciones operativas en la actualidad y que corresponden a las categorías de estación de tráfico y estación de fondo urbano.

Los resultados del análisis estacional realizado sobre el año que ambas estaciones disponen de más del 90% de datos válidos, 2006, muestran que las mayores diferencias entre Campus de Cartuja y Granada Norte en términos de valores medios aparecen en Invierno. El comportamiento invernal de de la estación Granada Norte, con el mayor valor medio de  $PM_{10}$  de todos los periodos estacionales, sugiere una mayor contribución de las fuentes antropogénicas locales en esa época del año, lo cual puede deberse a la contribución conjunta del tráfico y los sistemas de calefacción domestica, como a las condiciones atmosféricas con no favorecen la difusión de contaminantes. Los valores medios y los valores máximos registrados en la estación de Campus de Cartuja son mayores que los registrados en la estación de tráfico de Granada Norte, durante los meses de primavera y verano. Este comportamiento estacional de las estaciones analizadas explica que en el año 2006 los valores medios anuales no sean significativamente diferentes.

El patrón semanal en ambas estaciones muestra como el nivel de material particulado disminuye en los fines de semana. Este resultado muestra claramente la influencia antropogénica (las actividades debidas al tráfico, construcción y demolición) sobre los niveles de  $PM_{10}$  en la ciudad de Granada. Para todos los días de la semana de verano Campus de Cartuja presenta valores superiores a los registrados en Granada Norte, lo cual sugiere una influencia importante de actividades adicionales al tráfico, como pueden ser actividades de construcción y demolición junto con la incidencia debida a que el entorno rural próximo a la ciudad presente extensiones relevantes de zonas sin vegetación y con gran aridez en esta época del año

En la estación de Campus de Cartuja se ha obtenido un mismo valor medio anual de  $PM_{10}$  de  $34 \mu g m^{-3}$  para los años 2006 y 2007, no superándose el valor limite anual de  $40 \mu g m^{-3}$  fijado por la Directiva 1999/30/CE para el año 2005. El valor limite diario de  $50 \mu g m^{-3}$  fijado por la Directiva 1999/30/CE se ha superado en 38 ocasiones en 2006 (4 de ellas debidas a causas antropogénicas) y en 41 ocasiones en 2007 (9 de ellas debidas a causas antropogénicas). Por lo tanto, esta estación cumpliría los requisitos de no supera el limite de 35 días que marca las normativas citadas anteriormente.



En la estación de granada Norte se han obtenido los valores medio anual de  $PM_{10}$  de  $44 \mu g m^{-3}$  para 2005 y de  $36 \mu g m^{-3}$  para 2006, superándose el valor límite anual de  $40 \mu g m^{-3}$  fijado por la Directiva 1999/30/CE en el año 2006. El valor límite diario de  $50 \mu g m^{-3}$  fijado por la Directiva 1999/30/CE se ha superado en 109 ocasiones en 2005 (64 de ellas debidas a causas antropogénicas) y en 53 ocasiones en 2006 (25 de ellas debidas a causas antropogénicas), por lo que en esta estación se ha superado el límite de 35 días que marca las normativas en el año 2005.

Por otro lado, hay que señalar que al aplicar un factor de corrección de seguridad, de 1.3, recomendado por la normativa en los casos en los que no se dispone de comparaciones entre equipos de Medida de PM Automáticos y manuales, se producirían superaciones del promedio anual y del número permitido de superaciones del nivel  $50 \mu g m^{-3}$  diario. Por lo tanto, es muy recomendable realizar las calibraciones recomendadas por las normativas.

En ambas estaciones la concentración de los gases CO, NO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> es máxima en invierno y mínima en verano. El O<sub>3</sub> muestra un comportamiento estacional diferente, con valores máximos en verano y mínimos en invierno en ambas estaciones. Las mayores concentraciones de O<sub>3</sub> en verano están relacionadas con la mayor incidencia de la radiación solar en esta época, lo que favorece las reacciones fotoquímicas que producen O<sub>3</sub>. Hay que destacar que las concentraciones de CO, NO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> han sido más altas en la estación de Granada Norte, mientras que la concentración de O<sub>3</sub> es más alta en la estación de fondo urbano, Campus de Cartuja. Esto está posiblemente relacionado con los procesos de destrucción de O<sub>3</sub>. Por otro lado, ambas estaciones, la concentración de los gases CO, NO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> muestra un evidente Patrón semanal y diario con concentraciones más bajas en los fines de semana y dos máximas durante el día que coincide con la racha de tráfico. Este resultado muestra claramente la influencia de las actividades debidas al tráfico, construcción y demolición) sobre los niveles de estos gases. Por otro lado, la concentración de ozono es más alta en los días de fines de semana en ambas estaciones. Esto está relacionado con los procesos de destrucción de ozono que son menos favorables en los días de fines de semana. En ambas estaciones, las máximas concentraciones de ozono se observan entorno a las 15-16 horas, favoreciéndose su formación a partir de la mayor incidencia de la radiación solar.

Para los diferentes gases analizados los resultados muestran que no se superan los límites establecidos en la legislación vigente. No obstante, hay que señalar que los niveles de NO<sub>2</sub> presentarían superaciones de los niveles límite que se aplicarán a partir de 2010. En cuanto al ozono, los valores rebasan en ocasiones los límites establecidos sin que llegue a producirse superación legal, dado que el número de superaciones anuales queda muy por debajo de lo establecido por la legislación



## 5. BIBLIOGRAFÍA

Directiva 1999/30/CE de 22 de Abril relativa a los valores límite de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , PM y Pb en aire ambiente. Diario Oficial de la CE, L 163/41 de 26.06.1999.

Directiva 2004/107/CE de 15 Diciembre relativa al arsénico , el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en aire ambiente. Diario Oficial de la Unión Europea, L 23/3 del 26.1.2005.

Escudero, M., Querol, X., Pey, J., Alastuey, A., Pérez, N., Ferreira, F., Alonso, S., Rodríguez, S., Cuevas, E. 2007. A methodology for the quantification of the net African dust load in air quality monitoring networks. Atmospheric environment, 41, 5516-5524.

Kallos, G., Kotroni, V., Lagouvardos, K. 1997. The regional weather forecasting system SKIRON: an overview. Proceeding of the Symposium on Regional weather Prediction on Parallel computer environment. University of Athens, Greece, 109-122.

Nickovic, S., Papadopoulos, A., Kakaliagou, O., Kallos, G., 2001. Model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere. Journal of Geophysical Research, 106, 18113-