

5.4. Sector mediterráneo: Tarragona

5.4.1. Zona de estudio

Tarragona es una ciudad costera mediterránea situada sobre una loma rocosa. La cota más elevada sobre el nivel del mar es de 167 m, siendo el punto más bajo, la cota cero. La altura media sobre el nivel del mar es de 70 m. La ciudad tiene un perímetro terrestre de 40.9 km y 16.9 km de perímetro marítimo que incluye playa y costa brava. Los regímenes de vientos más característicos en la ciudad son el Mistral (de componente Noroeste) de Octubre a Marzo, y el Xaloc (de componente Sudeste), entre Mayo y Septiembre.

El municipio contaba en el año 2000 con una población de 115.153 habitantes, repartida en los diferentes sectores de actividad de la siguiente manera: agricultura, 1.55%; industria, 23.86%; construcción, 7.62% y servicios, 66.96%. Es así que las actividades dominantes son los servicios y la industria. En cuanto al parque móvil, según datos del Institut d'Estadística de Catalunya, en 1996 el 84% del total de 67.870 vehículos eran turismos y motocicletas, y el 16% restante se repartía entre autobuses, camiones y vehículos industriales. De aquí se deduce el elevado grado de influencia de las emisiones ligadas al tráfico en la calidad del aire de la ciudad.

La actividad industrial en el entorno de Tarragona se centra fundamentalmente en la industria química y de transformación y derivados del petróleo, además de contar con uno de los mayores puertos graneleros de España. La práctica totalidad de la industria petroquímica se localiza en los polígonos industriales denominados Sur y Norte. El polígono Sur abarca los municipios de Tarragona y Vilaseca, con instalaciones y servicios en la línea de costa. En este polígono se encuentra la mayoría de fábricas y centros de producción. El polígono Norte se extiende por los municipios de Constantí, Perafort i La Pobla de Mafumet. La factorías asentadas en los polígonos Norte y Sur de Tarragona son mayoritariamente de química de base, es decir, transformadores de materias primas, y el producto de una fábrica en muchos casos sirve a otra para su proceso productivo.

Las industrias establecidas en el área de Tarragona se pueden dividir en dos grupos:

- Industrias que utilizan como materias primas el petróleo y sus derivados. Constituido por industrias petroquímicas.
- Industrias relacionadas con la química inorgánica.

La estación de muestreo seleccionada en la ciudad de Tarragona se encuentra ubicada en la azotea de la Delegació Territorial d'Agricultura, Ramaderia i Pesca (DARP), a 16 m sobre el nivel del suelo (Figuras 5.4.1. y 5.4.2). A pesar de que esta estación no está equipada con monitores automáticos para la medida de contaminantes gaseosos, se seleccionó debido a su ubicación (terraza de un edificio de 7 plantas) en la parte alta de la ciudad, por lo que puede considerarse representativa de los niveles de fondo urbano en cuanto al material particulado. Además de la influencia de las emisiones urbanas, esta estación recibe aportes de partículas y contaminantes gaseosos emitidos en los grandes polígonos industriales que rodean Tarragona, así como de las actividades portuarias. A modo de resumen, los principales contaminantes atmosféricos registrados en el área de Tarragona en función de su origen son:

- Tráfico: NO_x, CO, material particulado
- Actividades portuarias: material particulado, NO_x, SO₂
- Industria: SO₂, NO_x, CO, material particulado, HCl, HF, compuestos orgánicos.



Figura 5.4.1. Localización de la estación de muestreo y medida de PM10 en la sede de la Delegació Territorial d'Agricultura, Ramaderia i Pesca (DARP). Ubicació de la estación Plaça de la Generalitat.



Figura 5.4.2. Equipos de muestreo de alto volumen de PST, PM10 y PM2.5 y monitor láser Grimm 1.107 en la terraza de la Delegació Territorial d'Agricultura, Ramaderia i Pesca (DARP) de la Generalitat en Tarragona.

5.4.2. Dinámica atmosférica

La comunidad autónoma de Cataluña se seleccionó como representativa de la zona Este de la Península, que presenta unas características micro-climáticas y orográficas propias que condicionan de manera importante los procesos de dispersión de los contaminantes atmosféricos particulados (Rodríguez et al. 2002a). La meteorología y el transporte de las masas de aire hacia la zona de estudio se encuentran influenciadas por el anticiclón de la Azores, cuyo radio de acción alcanza la costa oriental de la Península Ibérica incluso desde sus posiciones más alejadas. En los meses de verano, cuando la intensidad del anticiclón es máxima, el Mediterráneo Occidental y el Este peninsular quedan sometidos a condiciones de muy débil gradiente barométrico horizontal. Bajo estas condiciones domina la alternancia de flujos noche/día con las consiguientes oscilaciones de las masas de aire, produciéndose la recirculación de contaminantes y la formación de estratos de reserva en altura. Así, durante este periodo la vertiente mediterránea se caracteriza por una

gran frecuencia de circulaciones de brisa, que se intensifican por efectos orográficos. En condiciones de transporte del NE, situación frecuente en verano y en especial durante la noche, las emisiones industriales procedentes del Golfo de León se incorporan a los ciclos de brisa diurna, pudiendo éstas alcanzar grandes recorridos tierra adentro (Gangoiti et al., 2001, Millán et al., 2000). Se puede afirmar por tanto, que las condiciones de brisa en esta región dominan la dispersión de contaminantes durante una gran parte del año.

Durante los meses de invierno, por el contrario, el anticiclón presenta su mínima intensidad y se halla frecuentemente desplazado hacia el Oeste sobre el océano Atlántico. Bajo estas condiciones las borrascas características de la circulación zonal de latitudes medias descienden latitudinalmente, y circulan frecuentemente por el Golfo de Vizcaya o sobre la propia Península Ibérica. Este tipo de escenario tiene como resultado la entrada de aire atlántico en la cuenca mediterránea, favoreciendo el paso de frentes fríos y lluvias sobre la Península Ibérica. Asimismo pueden producirse situaciones anticiclónicas sobre la Península que generan condiciones de tiempo seco y estable en el invierno y favorecen la acumulación de contaminantes atmosféricos.

Con objeto de caracterizar la dinámica atmosférica en la ciudad de Tarragona, se ha realizado un estudio de los datos obtenidos en una estación meteorológica perteneciente al Servicio Meteorológico de Cataluña, situada en el puerto de Tarragona (Figura 5.4.3).

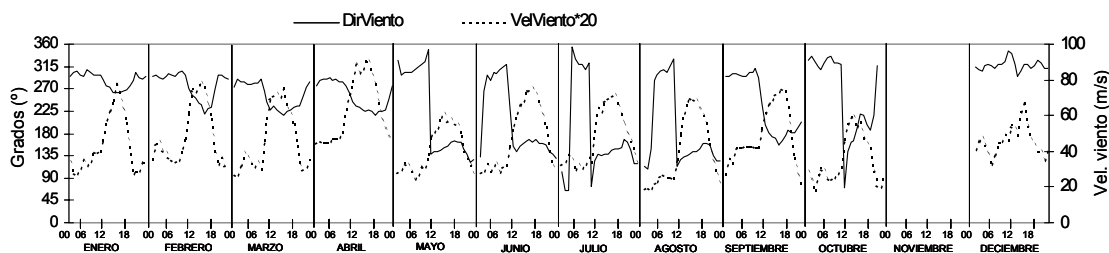


Figura 5.4.3. Evolución anual de los valores horarios (LST) de dirección y velocidad del viento en Tarragona en una estación meteorológica ubicada en el puerto de la ciudad. No se registraron datos durante el mes de Noviembre.

El estudio de la dirección del viento registrada en la estación del puerto de Tarragona muestra que durante los meses de invierno (Enero-Abril y Noviembre-Diciembre) predomina sobre la ciudad el flujo de componente Norte-Noroeste, determinado por la influencia del anticiclón de las Azores y la entrada de aire atlántico en la cuenca mediterránea. Mientras que a primeras horas de la mañana la dirección predominante es $270-315^{\circ}$, a lo largo del día se produce un ligero cambio en la dirección del viento, al aparecer vientos de componente ligeramente más meridional como consecuencia de la entrada de una cierta brisa de mar (12-18 h LST). La situación al caer la tarde es similar a la descrita para las primeras horas del día. Bajo este contexto, las menores condiciones dispersivas de invierno favorecen la acumulación de contaminantes sobre los focos de emisión durante la mañana (Soriano et al., 1998). Como consecuencia de la ruptura de la inversión térmica y el incremento del espesor de la capa de mezcla se produce una dilución de los contaminantes hacia el mediodía, que se concentran de nuevo al caer la noche (Allegrini et al., 1994, Toll y Baldasano, 2000).

En los meses de primavera y verano, por el contrario, el calentamiento de la superficie produce una activación de la dinámica atmosférica e induce la circulación de brisas mar-tierra durante el día y tierra-mar en la noche. Entre los meses de Abril-Mayo y Octubre, durante las primeras horas del día (00-06 h LST) la dirección predominante del viento se mantiene en torno a $270-315^{\circ}$, indicando la dirección de los flujos de retorno característicos de las primeras horas del día. A partir de las 10-11 h LST, por

acción del calentamiento solar, comienza a registrarse la entrada de la brisa de mar de componente Sur, que se sitúa en 150-180°. Esta dirección del viento se mantiene durante el resto del día, observándose a partir de las 18 h LST un ligero giro en dirección Oeste.

La velocidad del viento presenta una marcada tendencia diaria ligada a la dirección del viento, aunque no ocurre así en cuanto a su evolución estacional. A lo largo de todo el año la velocidad del viento se mantiene relativamente constante, y no registra valores máximos en verano como cabría esperar en base a los resultados obtenidos en Barcelona (sección 3.3.3). El ciclo diario de este parámetro es también muy constante en todos los meses, y presenta un máximo entre 12 y 18 h LST correspondiendo con la entrada de la brisa de mar tanto en invierno como en verano. Durante el periodo nocturno la velocidad del viento es mínima, ya que la velocidad de los flujos de retorno (brisa tierra-mar) es muy inferior a la circulación inversa (7-8 m/s durante el día frente a <3 m/s en la noche, Toll y Baldasano, 2000).

5.4.3. Niveles de partículas en suspensión

Los niveles medios anuales de material particulado (PM10, PM2.5 y PM1) registrados en la estación de Tarragona DARP durante el año 2001 son los siguientes:

- 37 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ y 24 $\mu\text{gPM}_{2.5}/\text{m}^3$ mediante un equipo gravimétrico de referencia de la norma EN-1234-1 (1999) y un captador de alto volumen, respectivamente. El número de medidas diarias con este método ha sido de 119/365 y 85/365, para PM10 y PM2.5, respectivamente, utilizando el sistema de muestreo de 3 (PM10) y 2 (PM2.5) días móviles por semana. La disponibilidad de datos sobre el muestreo planeado (135/365 y 90/365) ha sido por lo tanto del 88% y el 94% para PM10 y PM2.5, respectivamente.
- 37 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, 23 $\mu\text{gPM}_{2.5}/\text{m}^3$ y 18 $\mu\text{gPM}_1/\text{m}^3$ mediante medidas automáticas en tiempo real con el espectrómetro láser (n=332/365, con una disponibilidad de datos anual del 91%) (Tabla 5.4.1).

Los niveles de PM10 y PM2.5 obtenidos son muy similares para los dos sistemas de medida descritos en la metodología (espectrómetro láser y método gravimétrico). Los niveles medios de PM10 se encuentran dentro del rango normal de concentraciones medias de PM10 para estaciones de fondo urbano en España (30-45 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, Querol et al., 2002a). Los valores de otros contaminantes gaseosos registrados en la estación de Plaça de la Generalitat ($\text{NO}=47 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NO}_2=37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SO}_2=4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{O}_3=44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{CO}=0.8 \text{ mg}/\text{m}^3$) confirman el carácter de tráfico (elevado) e industrial de la zona de Tarragona en la que se encuentra esta estación. Con los niveles medios anuales de PM10 de la estación DARP se excedería el límite impuesto por la directiva 1999/30/CE para el año 2010 (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), aunque no así el de 2005 (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Esta situación es frecuente en la mayoría de las estaciones de fondo urbano del territorio español (Querol et al. 2002a). El número de superaciones del valor límite diario (Tabla 5.4.1) establecido por la misma directiva (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 35 días al año en 2005 y 7 días al año en 2010) sería superado en ambas fases de la aplicación de la directiva, incluso una vez descontadas las superaciones de origen natural (africano). El número final de superaciones de origen antropogénico sería n= 45.

La evolución estacional de los niveles de PM10, PM2.5 y PM1, así como la precipitación mensual acumulada, aparece reflejada en la Figura 5.4.4. El mes que registra la mayor carga particulada es Febrero con 51 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, y el origen de esta elevada media es esencialmente natural, ya que el 35% de las superaciones naturales anuales del límite diario atribuibles a intrusiones africanas se encuentran concentradas en este mes (8 superaciones de n=23). Los meses de Mayo y Octubre presentan

también medias elevadas (41 y 42 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ respectivamente), y mientras que en Octubre existe también una importante componente natural, en el mes de Mayo el origen es esencialmente antropogénico. Por otra parte, los niveles de material particulado alcanzan valores mínimos en los meses de Junio, Julio y Septiembre, siendo consecuencia del elevado volumen de precipitación registrado en Julio y Septiembre. La evolución de los niveles de PM2.5 y PM1 es similar a la descrita para PM10, con máximos en los meses de Febrero, Mayo y Octubre, pero también en Diciembre (28 $\mu\text{gPM}_{2.5}/\text{m}^3$ y 18 $\mu\text{gPM}_1/\text{m}^3$). Las máximas concentraciones medias diarias de PM10, PM2.5 y PM1 se registraron el día 12/02/01 (114, 89 y 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente).

Tabla 5.4.1. Niveles medios anuales de PM10, PM2.5 y PM1 registrados en la estación de Tarragona DARP con espectrómetro láser durante el año 2001. n: número de superaciones del valor límite diario establecido por la directiva 1999/30/CE (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). n>50Sahara: número de superaciones debidas a la incursión de masas de aire de origen africano.

	PM10	PM2.5	PM1	n	n>50Sahara
ENERO	40	26	21	9	0
FEBRERO	51	35	28	13	8
MARZO	37	20	14	5	3
ABRIL	35	20	14	3	0
MAYO	41	28	21	12	2
JUNIO	32	19	13	0	0
JULIO	32	22	17	1	1
AGOSTO	33	21	16	4	4
SEPTIEMBRE	28	16	12	3	0
OCTUBRE	42	27	20	8	3
NOVIEMBRE	37	17	13	5	1
DICIEMBRE	37	28	22	5	1
ANUAL	37	23	18	68	23

El número de superaciones totales del valor límite diario de PM10 presenta también una evolución estacional marcada por tres periodos máximos, en este caso Enero-Febrero, Mayo y Octubre-Diciembre. El primero de ellos, en particular el mes de Febrero, destaca por la mayor incidencia de episodios de origen africano, que justifican el 36% de las superaciones de los dos meses, y el 12% de las totales. El origen del elevado número de superaciones registradas en Mayo (n=12) es esencialmente antropogénico. Sin embargo, en Agosto se detecta un máximo relativo en el número de superaciones totales, debido por completo a la incidencia de episodios de intrusión de masas de aire africano con elevada carga particulada. Finalmente, en el mes de Octubre se detecta un nuevo máximo en el número de superaciones naturales, que se prolonga en los meses de Noviembre y Diciembre por causas antropogénicas.

La distribución granulométrica del material particulado a lo largo del año en la estación de Tarragona DARP aparece reflejada en la Figura 5.4.5. Como valor medio en el periodo de estudio, la fracción PM2.5 supone el 62% del PM10, y el 73% del PM2.5 está compuesto por partículas de diámetro <1 μm . Estos valores coinciden con los obtenidos en dos estaciones en Barcelona durante estudios realizados en 2001 (Sagrera, PM2.5/PM10=60%, PM1/PM2.5=70%) y 2000 (l'Hospitalet, PM2.5/PM10=68%, PM1/PM2.5=69%), y con el ratio PM2.5/PM10 obtenido en Alcobendas (63%) durante 2001 (aunque no así el ratio PM1/PM2.5=86%). Asimismo, el ratio PM2.5/PM10 en Tarragona es inferior a los obtenidos en Llodio (74%) y Bemantes (67%), y a los obtenidos en la mayor parte de las estaciones de fondo urbano en ciudades del Norte y centro de Europa (80-90%, Putaud et al., 2002). Por el

contrario, es superior a los valores registrados en Huelva (53%) y Canarias (45%), donde predominan los aportes de material particulado grueso.

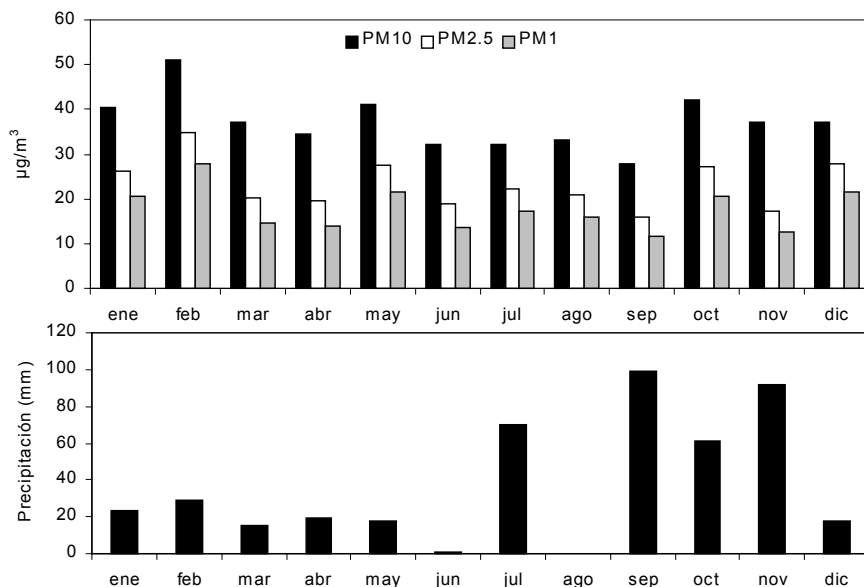


Figura 5.4.4. Variación estacional de los niveles de partículas registradas durante el año 2001. Precipitación mensual acumulada registrada en Tarragona durante 2001.

Respecto a la evolución temporal del ratio PM2.5/PM10 (Figura 5.4.5), destaca el hecho de que no se observa ninguna tendencia estacional clara. A diferencia de la estación de Sagrera (Barcelona), en la que se detecta un claro mínimo estival de este parámetro, el ratio PM2.5/PM10 en Tarragona presenta un mínimo en los meses de Marzo-Abril (0.53-0.56), y otro en Noviembre (0.46). Los máximos se registran en Diciembre (0.74), en Julio (0.68) y en Enero-Febrero (0.63-0.64). Dado que los máximos no se alejan especialmente de la media anual, es posible concluir que la distribución granulométrica media del material particulado en la estación de Tarragona es relativamente constante a lo largo del año aunque con amplias variaciones a corto plazo, con disminuciones puntuales del ratio PM2.5/PM10 concentradas en los meses de Marzo, Abril y Noviembre.

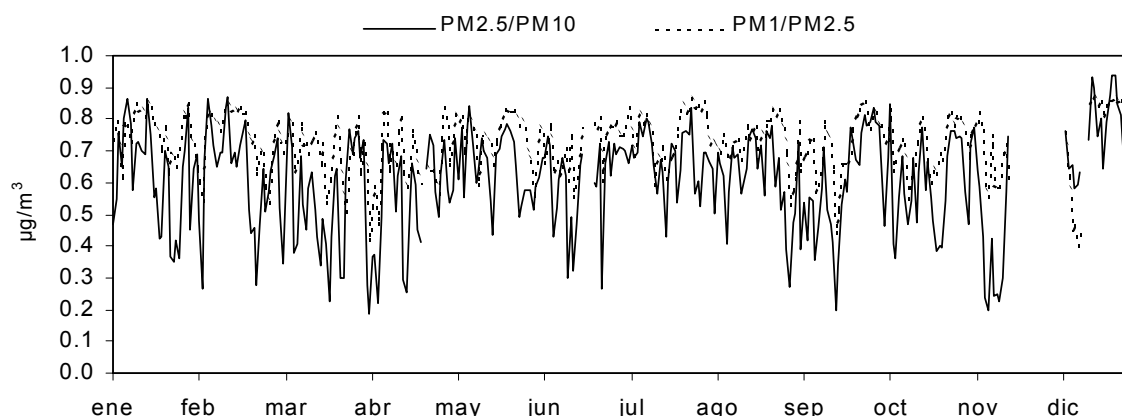


Figura 5.4.5. Evolución temporal del ratio de las concentraciones medias diarias de PM2.5 respecto a PM10 y PM1 respecto a PM2.5 obtenidos en Tarragona DARP en 2001.

Al contrario que los ratios de material particulado, los niveles de NO y O₃ en Tarragona presentan una clara tendencia estacional, característica de entornos urbanos (Figura 5.4.6). Destacan los muy elevados niveles medios horarios alcanzados por ambos contaminantes (máximos horarios de NO=695 µg/m³ y O₃=189 µg/m³), que indican el

elevado grado de influencia del tráfico y de las diferentes industrias de la zona. Como es habitual en entornos urbanos en el Este de la Península Ibérica, las mayores tasas de emisión y las menores condiciones dispersivas favorecen en invierno la acumulación de contaminantes tales como NO. La tendencia estacional del ozono, por otra parte, es opuesta a la descrita para NO ya que maximiza en verano coincidiendo con los menores niveles de NO (menor consumo de O₃). Al mismo tiempo, a escala regional los niveles de ozono maximizan en primavera y verano. A escala semanal, los niveles de ozono maximizan durante los fines de semana de nuevo debido a las menores concentraciones de compuestos reductores (NO_x) en el ambiente.

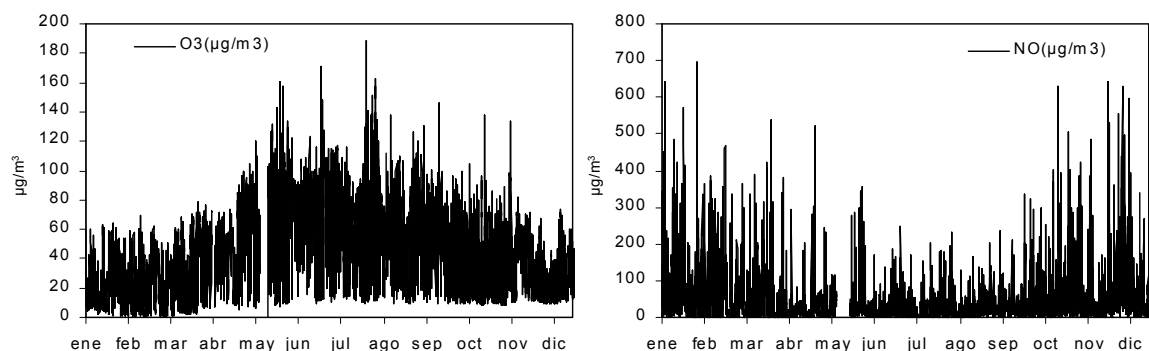


Figura 5.4.6. Evolución estacional de los niveles medios horarios de NO y O₃ registrados en la estación de Plaça de la Generalitat durante 2001.

5.4.4. Patrones diarios y estacionales

En la Figura 5.4.7 se ha representado la evolución horaria de los niveles de material particulado (PM10, PM2.5 y PM1) en la estación de Tarragona DARP, así como los niveles de determinados contaminantes gaseosos (NO y O₃) en la estación Plaça de la Generalitat. La evolución media diaria de los niveles de material particulado es muy similar a la descrita para la estación de Sagrera (Barcelona), y refleja por tanto las emisiones características de un entorno urbano bajo cierto grado de influencia industrial. Los ciclos diarios se caracterizan en los meses de invierno por presentar dos máximos entre las 10-12h LST y 19-21h LST, relacionados con la actividad del tráfico. Estos máximos corresponden con descensos marcados en el ratio PM2.5/PM10 (hasta 0.4), indicando una mayor presencia de las fracciones gruesas probablemente originada por la resuspensión del material particulado depositado sobre el asfalto. En determinados meses (Marzo, Abril) este incremento se prolonga hasta las 00 h LST, como consecuencia de la concentración de los contaminantes en el menor espesor de la capa de mezcla. En verano la situación es ligeramente diferente, ya que el primero de estos máximos se mantiene (8-10 h LST) aunque no así el segundo, que parece retrasarse en el tiempo (a partir de 22 h). Durante algunos meses, el segundo máximo diario se produce al caer la noche probablemente como consecuencia de la compresión de la capa de mezcla, en la que incrementa la concentración de los contaminantes atmosféricos. El mayor espesor de la misma o el arrastre de contaminantes por la brisa de mar durante la tarde evita el registro del máximo vespertino ligado al tráfico, como ocurre en invierno. Esta evolución anual se observa de igual manera para el material particulado de las tres fracciones.

Los niveles de NO, en la misma figura, muestran una clara dependencia de la actividad del tráfico al presentar dos máximos diarios en las horas de mayor densidad de vehículos. A diferencia del material particulado, el segundo máximo diario se mantiene en verano, aunque su intensidad disminuye considerablemente. La evolución diaria de NO es siempre inversa a la de O₃, aunque la magnitud de ambos parámetros

varía en función de la época del año. Los niveles de SO₂ no han sido representados de esta misma forma debido a la ausencia de un patrón estacional claro, como muestra la Figura 5.4.8. Las emisiones de SO₂ tienen relación esencialmente con las actividades portuarias e industriales, ambas por término general independientes de la época del año y de la hora del día. Es por ello que durante todo el año se registran niveles horarios relativamente constantes en torno a 5-10 µg/m³ (10-20 µg/m³ de Octubre a Diciembre) con máximos horarios puntuales que alcanzan niveles desde 40 a 120 µg/m³.

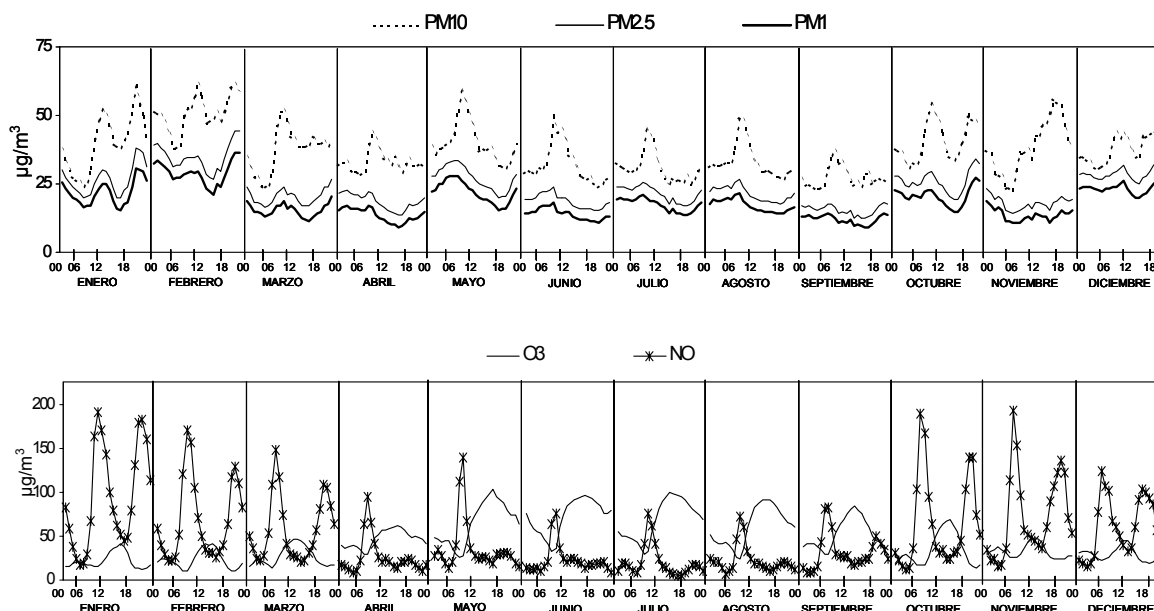


Figura 5.4.7. Evolución anual de los niveles horarios (LST) de PM10, PM2.5 y PM1 en la estación Tarragona DARP, así como de NO y O₃ en la estación de Plaça de la Generalitat, durante 2001.

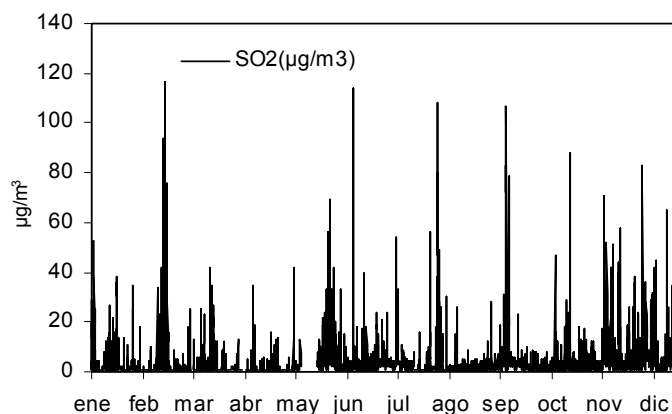


Figura 5.4.8. Evolución estacional de los niveles medios horarios de SO₂ registrados en la estación de Plaça de la Generalitat durante 2001

Con objeto de realizar una caracterización más detallada de los ciclos diarios de contaminantes en invierno y verano en Tarragona, se han seleccionado los meses de Enero y Agosto de 2001, y se han representado en la Figura 5.4.9. Tal y como se observaba en la Figura 5.4.7, la principal diferencia entre los patrones diarios de material particulado en invierno y verano es la ausencia del máximo vespertino ligado al tráfico en los meses de verano. Por el contrario, se aprecia en verano una tendencia al incremento paulatino de los niveles a partir de las 22-23 h LST, que sería producido por la disminución del espesor de la capa de mezcla al caer la noche. Los periodos de máxima actividad del tráfico son detectados con facilidad debido a la concurrencia de

incrementos simultáneos en los niveles de material particulado, NO, NO₂ y CO, tanto en invierno como en verano. Los niveles de SO₂, a diferencia del resto de contaminantes, no presentan ninguna tendencia definida a lo largo del año, siendo el único factor común entre invierno y verano un ligero incremento registrado en torno al mediodía.

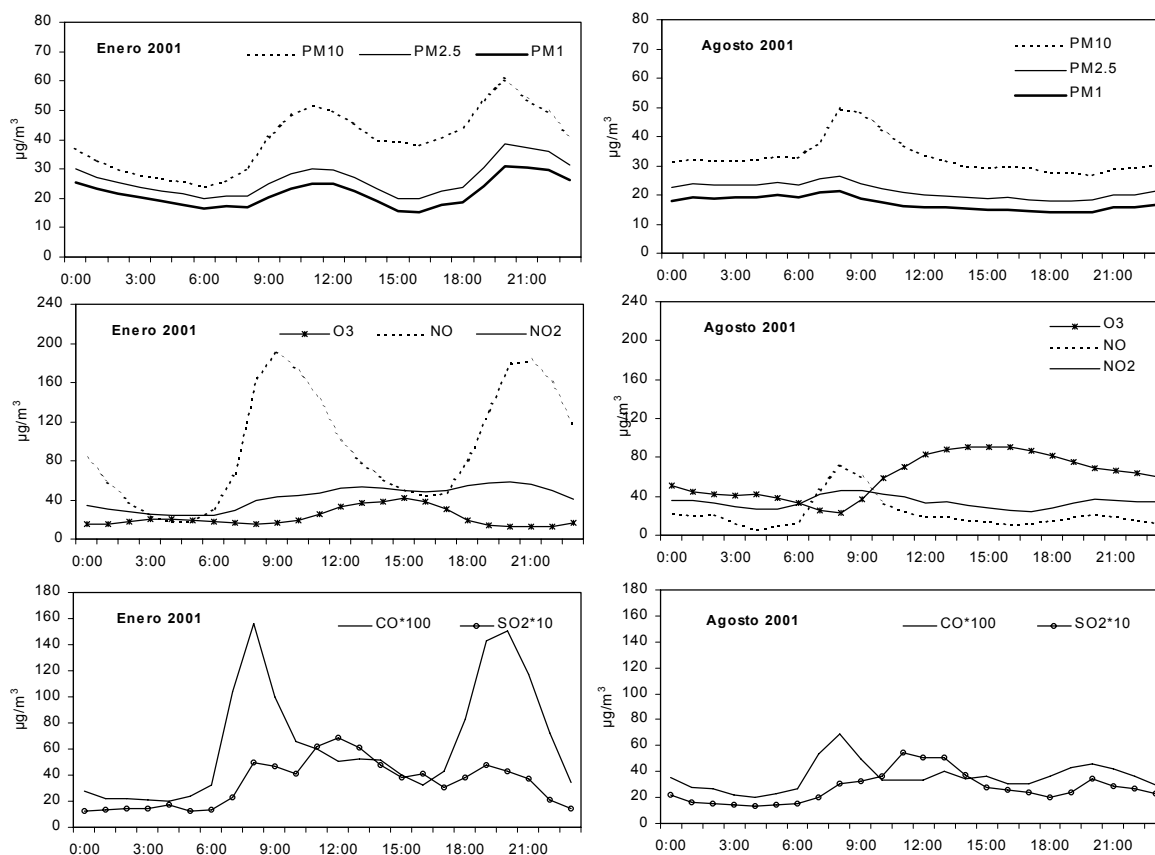


Figura 5.4.9. Evolución diaria de niveles de PM10, PM2.5 y PM1, así como de contaminantes gaseosos (NO₂, NO, O₃, CO y SO₂) durante los meses de Enero y Agosto de 2001 en las estaciones de Tarragona DARP (material particulado) y Plaça de la Generalitat (contaminantes gaseosos). Valores horarios expresados como LST.

En valores absolutos, los niveles de PM10, PM2.5 y PM1 son mayores en Enero que en Agosto de 2001 (40 µgPM10/m³ frente a 33 µgPM10/m³, 26 µgPM2.5/m³ frente a 21 µgPM2.5/m³ y 21 µgPM1/m³ frente a 16 µgPM1/m³), consecuentemente con las mayores tasas de emisión y la menor capacidad dispersiva de la atmósfera. La misma situación se observa para el resto de contaminantes con la única excepción del ozono, que maximiza en verano (23 µg/m³ en Enero frente a 61 µg/m³ en Agosto). La distribución granulométrica del material particulado a lo largo del día es más constante en verano que en invierno. Durante la madrugada en el mes de Enero se aprecia en predominio de las fracciones finas, con mayor tiempo de residencia en la atmósfera, mientras que durante el resto del día incrementa el porcentaje de partículas gruesas, resuspendidas por la actividad del tráfico. Dado que en verano se detecta un único máximo debido al tráfico, este incremento de las fracciones gruesas se encuentra más limitado en el tiempo, y la relación entre las diferentes fracciones permanece constante durante la mayor parte del día.

La Figura 5.4.10 muestra la relación entre la dirección del viento en la estación meteorológica del puerto de Tarragona y los niveles de diferentes contaminantes atmosféricos registrados en la estación Plaça de la Generalitat en 2001. Para la mayoría de los contaminantes se aprecia una dirección predominante en torno a 300-330°, que coincide con la dirección del denominado polígono Norte (centrado en la

industria petroquímica y de base). Esta dirección es especialmente marcada para los niveles de NO y CO, y también para el material particulado en las fracciones PM2.5 y PM1. Los gráficos correspondientes a PM10 y SO₂ parecen indicar la misma dirección aunque de forma menos marcada, debido a que las emisiones industriales se centran esencialmente en el resto de contaminantes descritos. El material particulado de diámetro más grueso (PM10) es emitido con mayor frecuencia en el entorno urbano que el industrial, y es por ello que no presenta un patrón tan claro en dirección a la industria como las fracciones PM2.5 y PM1. Por el contrario, el material particulado de las tres fracciones coincide en definir una segunda dirección principal, aunque no tan pronunciada, entre 90-180°. Esta dirección se corresponde con la costa, y podría indicar tanto aportes recibidos desde la zona portuaria, como la recirculación de contaminantes emitidos hacia el mar durante la noche en dirección al interior por efecto de la brisa de mar. El hecho de que los niveles de NO₂ y ozono muestren la misma tendencia podría confirmar la influencia de la brisa marina. Tras el estudio por separado de los valores de invierno y verano no se han obtenido diferencias significativas entre ambos periodos, indicando así el elevado grado de influencia de las actividades industriales en la zona, que permanecen constantes a lo largo del año.

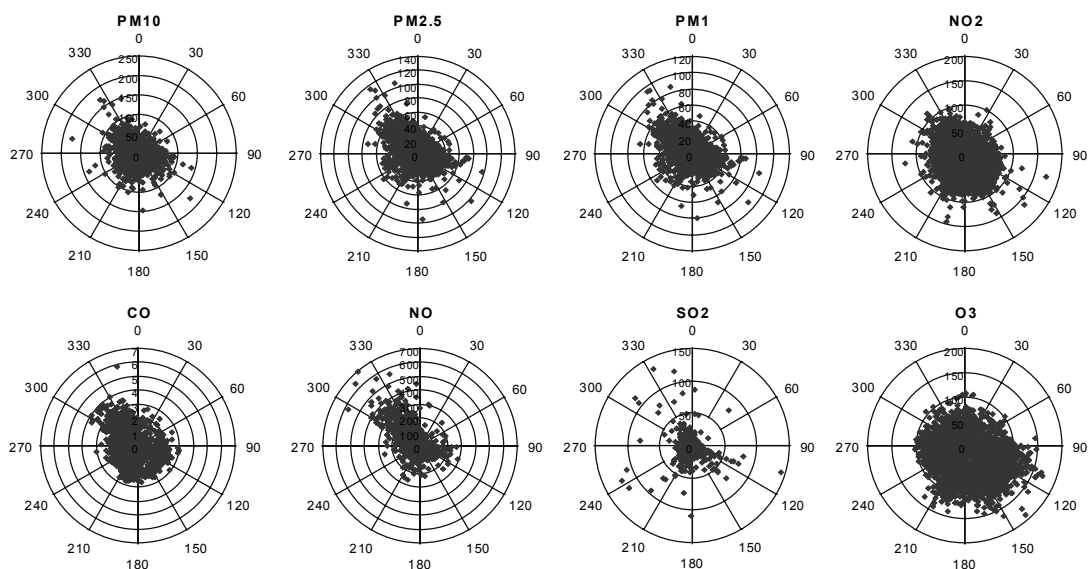


Figura 5.4.10. Niveles horarios de PM10, PM2.5, NO₂, CO, NO, SO₂ y O₃ registrados en Tarragona durante 2001 en función de la dirección del viento, obtenida en la estación del puerto de la ciudad.

5.4.5. Interpretación de series mensuales de PM10, PM2.5 y PM1

En la Figura 5.4.11 se ha representado el registro de los valores horarios de PM10, PM2.5 y PM1 en la estación de Tarragona DARP para el año 2001. Mes a mes se han identificado los episodios con altos niveles de partículas de las tres fracciones, y se ha interpretado su origen antropogénico o natural en base a la correlación de los niveles de material particulado y contaminantes gaseosos (episodios antropogénicos) y de las interpretaciones meteorológicas, cálculo de retro trayectorias, evaluación de los mapas de aerosoles SKIRON, TOMS, NAAPs e imágenes satélite SeaWIFS (episodios africanos). La combinación de ambas metodologías ha permitido también la identificación de episodios de recirculación a escala regional de masas de aire (un solo caso con niveles elevados de PM10 en la estación DARP en 2001), en los que el escenario meteorológico dominado por un débil gradiente barométrico sobre el Este peninsular favorece la acumulación de contaminantes. La ausencia de importantes procesos advectivos en la zona y la consecuente recirculación de las masas de aire inhibe su renovación, incrementando así su carga contaminante. La elevada insolación

asociada a los episodios regionales incrementa la actividad fotoquímica, que favorece la formación de partículas secundarias, y la turbulencia y la dinámica convectivas favorecen a su vez la resuspensión de las partículas del suelo en las zonas semiáridas peninsulares. Los episodios africanos, por otra parte, se producen con frecuencia sobre episodios de contaminación antropogénica local, con lo cual existen interferencias que dificultan la identificación de ambos tipos de evento. Entre los episodios africanos de mayor impacto en las series de niveles de material particulado destacan los registrados entre el 21-25/02/01 (22/02/01, 103 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ a las 13 h LST) y entre el 29-31/10/01 (31/10/01, 93 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ a las 11 h LST). Los episodios de tipo antropogénico, aunque presentes a lo largo de todo el año, suelen ser detectados con mayor claridad en invierno. Dada la influencia del tráfico así como de emisiones industriales en esta estación, este tipo de episodios puede producirse de forma puntual (por ejemplo, 16/06/01) o prolongada (por ejemplo, 25-29/09/01 o 5-7/10/01). En el primero de los casos, los incrementos en los niveles de material particulado y contaminantes gaseosos estarían relacionados con la actividad del tráfico en el entorno directo de la estación y/o con impactos puntuales recibidos desde la zona industrial, y serían por tanto más limitados en el tiempo. Por otra parte, los episodios de mayor duración tendrían que ver con situaciones meteorológicas propicias para el transporte de las emisiones producidas en las áreas industriales de la ciudad, y por tanto dependerían de procesos a mayor escala.

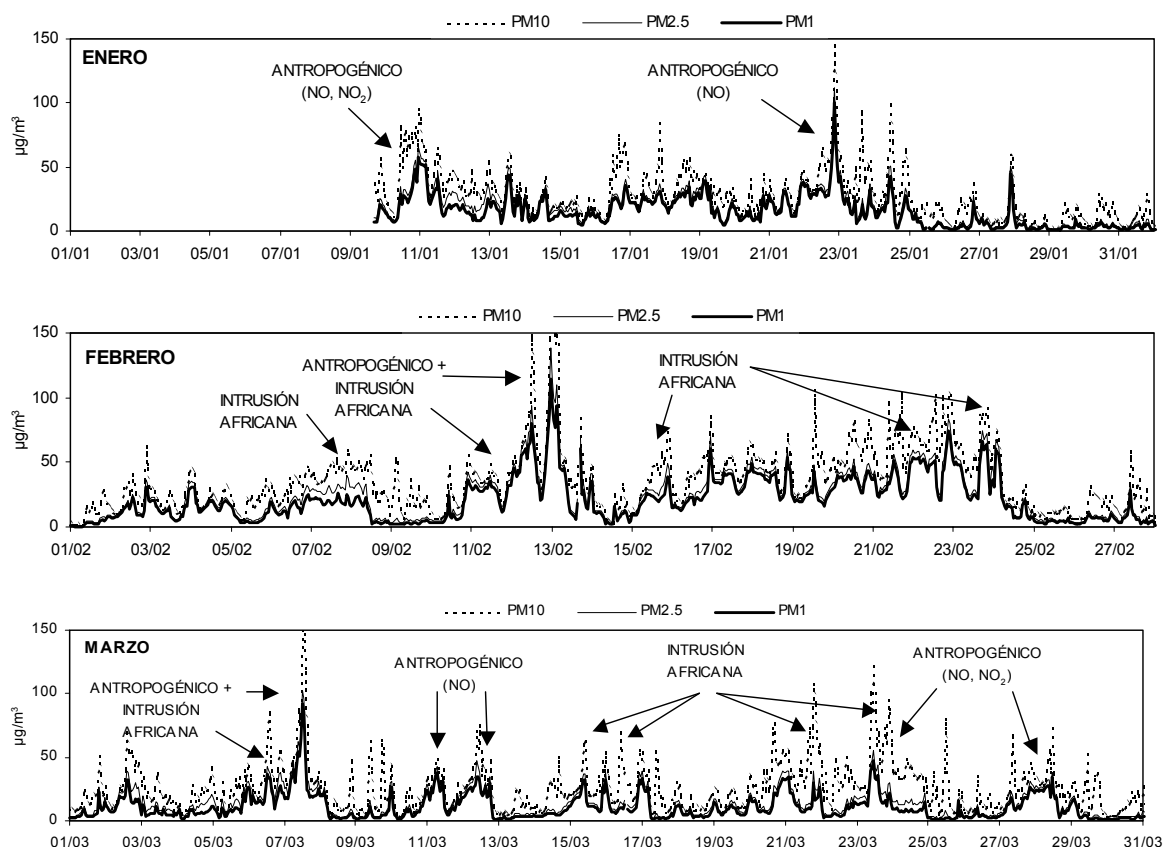


Figura 5.4.11. Series temporales de valores medios horarios de PM10, PM2.5 y PM1 en el periodo Enero - Diciembre de 2001 en Tarragona DARP. Se indican los eventos de tipo antropogénico, africano y regional. Entre paréntesis se indica si los episodios antropogénicos están relacionados con incrementos de los niveles de determinados contaminantes gaseosos.

5. Niveles de PM10, PM2.5 y PM1 (2001): Tarragona

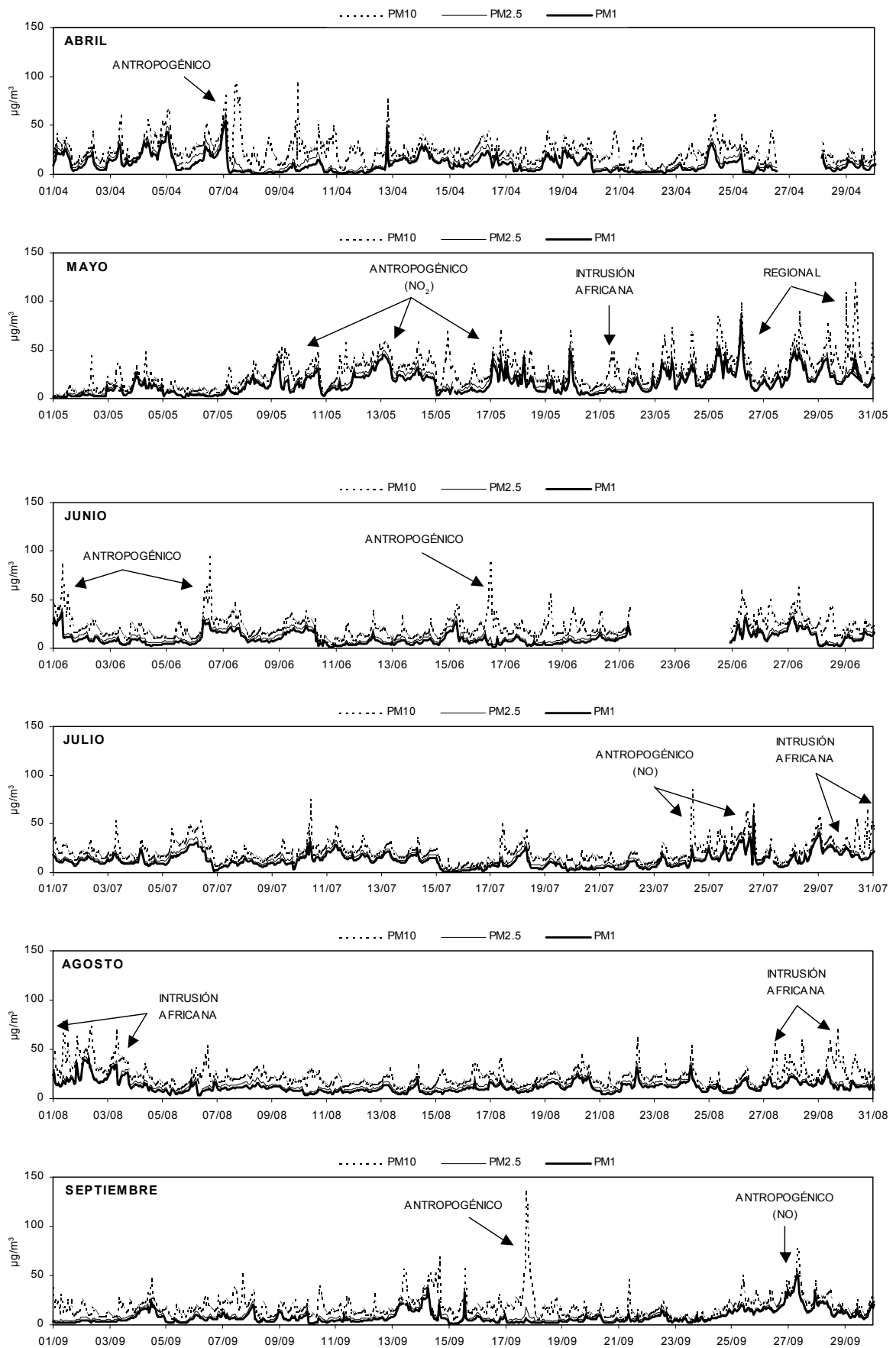


Figura 5.4.11. Continuación.

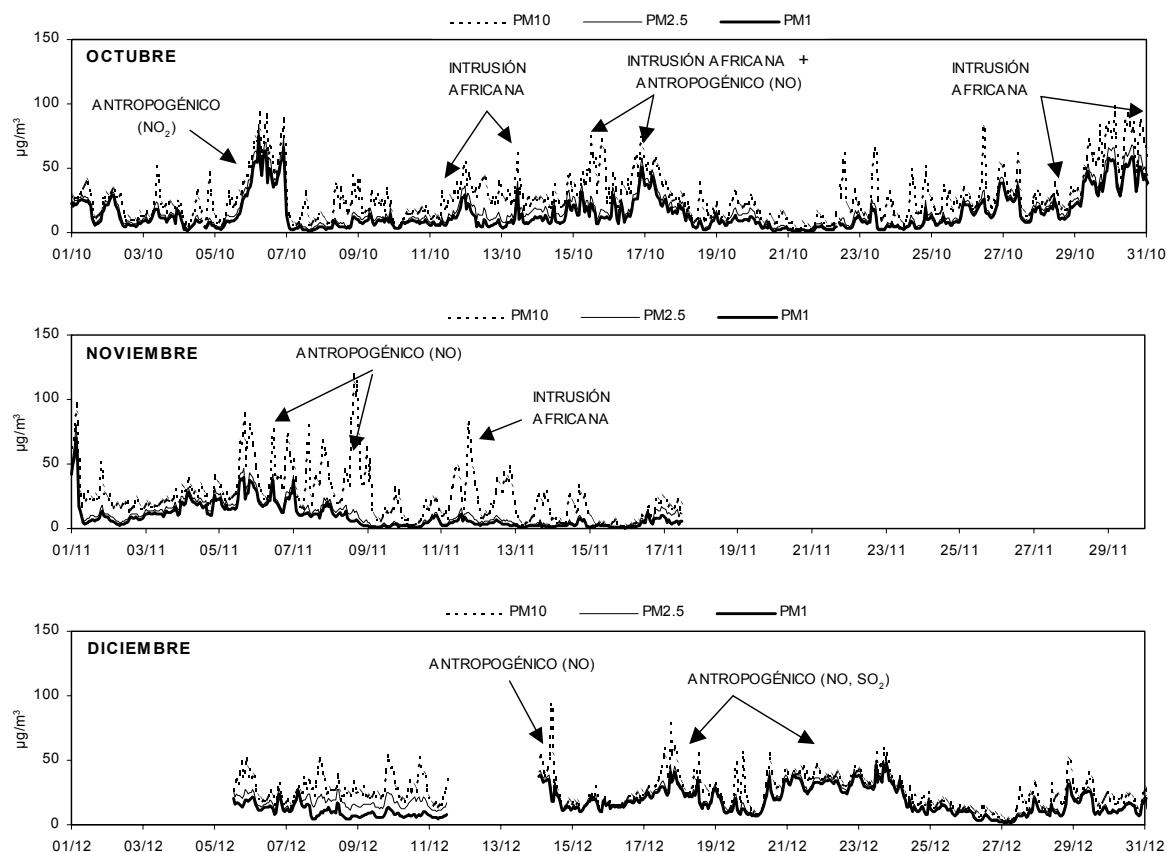


Figura 5.4.11. Continuación.

Una vez realizado el estudio de las series mensuales de niveles de material particulado en la estación de Tarragona DARP para el año 2001, es necesario evaluar el impacto en la calidad del aire ambiente de posibles aportes de material particulado y demás contaminantes recibidos por medio del transporte a larga distancia de masas de aire. Dada la proximidad entre las ciudades de Barcelona (estación de Sagrera) y Tarragona (estación DARP), para este estudio se han tomado los cálculos de retro trayectorias realizados para la estación de Sagrera durante 2001 (ver sección 3.3.6). Los niveles de material particulado asociados a cada una de las áreas fuente definidas aparecen resumidos en la Tabla 5.4.2.

Los niveles de PM10 más elevados se encuentran asociados al origen africano, al igual que ocurre en la mayoría de estaciones de la Península y Canarias (Barcelona, Huelva, Coruña, Las Palmas de Gran Canaria). Este patrón se repite en los niveles de PM2.5 y PM1. El origen de estos niveles elevados es por lo tanto externo a la zona de estudio, y depende del transporte de masas de aire desde el continente africano. En segundo lugar se sitúan las concentraciones asociadas a las masas de aire provenientes del Atlántico Sudoeste (ASW). Este tipo de trayectoria se registra con frecuencia antes y después de episodios de intrusión de masas de aire de origen africano, y es así que los elevados niveles de partículas podrían encontrarse también asociados en cierta medida al material particulado africano. La similitud entre los ratios PM2.5/PM10 y PM1/PM2.5 para las procedencias NAF y ASW (64% y 64%, 75% y 77%, respectivamente) confirma este origen común.

El resto de procedencias presenta menores diferencias en cuanto a los niveles de material particulado, que oscilan entre 23 y 37 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$. Así, los escenarios denominados regionales y el transporte desde el Mediterráneo, Atlántico occidental y Europa tiene como resultado niveles de partículas relativamente similares, que reflejan

los aportes de tipo urbano e industrial local. Destaca la procedencia AN por presentar la menor concentración de partículas ($23 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ como media).

Tabla 5.4.2. Frecuencia anual y niveles medios de PM10, PM2.5 y PM1 registrados para los diferentes escenarios de transporte atmosférico distinguidos: AN, ANW, AW, ASW, advección del Atlántico N, NW, W y SW, respectivamente; NAF, advección africana; MED, transporte desde la cuenca mediterránea; EU, transporte desde Europa central; R, episodios regionales de recirculación.

		AN	ANW	AW	ASW	NAF	MED	EU	R
Frecuencia	% anual	6%	23%	16%	10%	9%	5%	15%	16%
PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	23	30	31	42	45	29	36	35
PM2.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	12	15	20	27	29	19	25	24
PM1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	9	11	16	20	22	14	19	19

Con objeto de llevar a cabo una caracterización granulométrica de los diferentes tipos de episodio registrados en Tarragona se ha realizado un estudio detallado de los eventos más intensos, y los resultados se han resumido en las Tablas 5.4.3 y 5.4.4. Los ratios medios obtenidos son muy similares entre sí, oscilando dentro de un rango de 0.68-0.72 para PM2.5/PM10, 0.54-0.60 para PM1/PM10 y 0.79-0.83 para PM1/PM2.5. A pesar de las escasas diferencias, los valores menores se registran siempre durante episodios de contaminación antropogénica local. Por otra parte, este tipo de episodio presenta las mayores concentraciones medias de partículas al alcanzar $78 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$. Los episodios antropogénicos locales se detectan con mayor claridad bajo escenarios de transporte atlántico, ya que bajo estas condiciones se evita la interferencia con aportes recibidos desde otras fuentes (África, Europa o procesos regionales) y es posible identificar aportes desde el entorno directo de la estación. Así, los ratios medios calculados durante estos episodios antropogénicos locales son sólo ligeramente inferiores al resto. Los tres tipos de episodio restantes presentan también ratios muy similares, consecuencia de los procesos de mezcla con las emisiones locales. A su llegada a Tarragona, las masas de aire de origen africano, europeo o regional atraviesan los polígonos industriales que rodean la ciudad, adquiriendo características de las emisiones industriales en forma de carga contaminante de diámetro generalmente fino. Dado que los citados procesos de mezcla se producen en las proximidades de la zona de estudio, las características del material particulado industrial suelen prevalecer sobre aquellas originarias de las masas de aire, resultando así en una granulometría fina y muy similar para las tres fuentes (PM2.5/PM10=0.69-0.72). Es importante destacar que incluso los aportes de material particulado africano no se aprecian en el ratio PM2.5/PM10, como ocurre en el resto de estaciones de medida en la Península y Canarias (PM2.5/PM10 en Barcelona=0.5, Canarias=0.4, Madrid=0.5, Huelva=0.4, Bemantes=0.6). La única estación en la que el ratio PM2.5/PM10 durante episodios africanos no es significativamente bajo es Llodio, en la que se registró un valor similar al obtenido en Tarragona DARP (0.7).

Tabla 5.4.3. Ratios medios de niveles diarios (izquierda) y promedios (derecha, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10, PM2.5 y PM1 en la estación de Tarragona durante el año 2001 determinados para episodios seleccionados de los cuatro tipos definidos: africanos (NAF), antropogénicos (ANT), antropogénicos bajo escenarios de transporte europeo (ANT-EU) y regionales (R).

	PM2.5/PM10	PM1/PM10	PM1/PM2.5	PM10	PM2.5	PM1
NAF	0.71	0.56	0.79	72	51	40
ANT	0.68	0.54	0.79	78	54	43
ANT-EU	0.72	0.60	0.83	70	50	41
R	0.69	0.56	0.81	61	42	34

Tabla 5.4.4. Ratios medios de los niveles diarios de PM10, PM2.5 y PM1 determinados para los episodios seleccionados.

	PM2.5/PM10	PM1/PM10	PM1/PM2.5	PM10	PM2.5	PM1
EPISODIOS AFRICANOS						
07/02/01	0.7	0.4	0.6	62	43	27
13/02/01	0.7	0.6	0.8	86	61	49
23/03/01	0.5	0.4	0.7	80	39	28
04/04/01	0.8	0.6	0.8	58	44	36
31/07/01	0.6	0.5	0.8	59	36	30
02/08/01	0.7	0.6	0.9	57	40	34
29/10/01	0.7	0.6	0.8	83	62	50
30/10/01	0.8	0.6	0.8	103	77	62
23/12/01	0.9	0.8	0.9	57	54	46
Media	0.7	0.6	0.8	72	51	40

	PM2.5/PM10	PM1/PM10	PM1/PM2.5	PM10	PM2.5	PM1
EPISODIOS ATLÁNTICOS						
10/01/01	0.5	0.4	0.8	76	41	33
11/01/01	0.8	0.6	0.8	66	50	38
23/01/01	0.6	0.4	0.8	57	31	25
12/02/01	0.8	0.6	0.8	114	89	72
22/02/01	0.7	0.6	0.8	106	76	64
23/02/01	0.7	0.6	0.8	85	63	52
17/05/01	0.7	0.6	0.8	60	44	33
06/10/01	0.8	0.7	0.8	94	79	66
15/10/01	0.5	0.3	0.7	63	30	22
16/10/01	0.7	0.5	0.8	62	39	31
Media	0.7	0.5	0.8	78	54	43

	PM2.5/PM10	PM1/PM10	PM1/PM2.5	PM10	PM2.5	PM1
EPISODIOS REGIONALES						
16/02/01	0.7	0.5	0.8	58	40	32
29/05/01	0.7	0.5	0.8	62	40	33
05/11/01	0.6	0.5	0.8	66	42	33
06/11/01	0.6	0.5	0.8	61	36	30
21/12/01	0.9	0.8	0.9	57	50	43
Media	0.7	0.6	0.8	61	42	34

	PM2.5/PM10	PM1/PM10	PM1/PM2.5	PM10	PM2.5	PM1
EPISODIOS EUROPEOS						
17/02/01	0.8	0.7	0.8	68	57	48
18/02/01	0.9	0.7	0.8	68	59	50
19/02/01	0.7	0.5	0.8	59	39	32
20/02/01	0.7	0.6	0.8	86	60	49
21/02/01	0.7	0.5	0.8	84	55	45
12/05/01	0.8	0.6	0.8	57	45	36
25/05/01	0.8	0.6	0.8	67	52	43
28/05/01	0.7	0.6	0.8	69	50	42
30/05/01	0.5	0.4	0.8	77	38	30
17/12/01	0.7	0.6	0.8	60	44	37
Media	0.7	0.6	0.8	70	50	41

