

4.3. Sector mediterráneo

4.3.1. Selección de series temporales y criterios de interpretación

El estudio de los niveles de material particulado en suspensión en el sector oriental de la Península Ibérica se llevó a cabo a partir de los datos obtenidos de 19 estaciones de control de calidad del aire (Tabla 4.3.1 y Figura 4.3.1). Estas estaciones pertenecen a las redes de control de la calidad del aire de la Generalitat de Catalunya y de la Generalitat Valenciana. También se seleccionó la estación rural de Monagrega, ubicada en Teruel en la cuenca del Ebro (Alcorisa), perteneciente a la red de la Empresa Nacional de Electricidad S.A. (ENDESA).

En 1996-2000 las estaciones de control de calidad del aire de las comunidades autónomas de Cataluña y Valencia estaban equipadas con instrumentación automática de medida de PST de tipo atenuación de radiación Beta FAG en Cataluña, y Dasibi en la comunidad valenciana. Hasta el año 2000 no se comenzó a instalar cabezales PM10 en estaciones seleccionadas, por lo que el estudio de 1996-2000 se realiza en base a las series de PST. En la estación rural de Monagrega las medidas (de PM10) se realizaron con microbalanza oscilante (TEOM) Rupprecht and Patashnick.

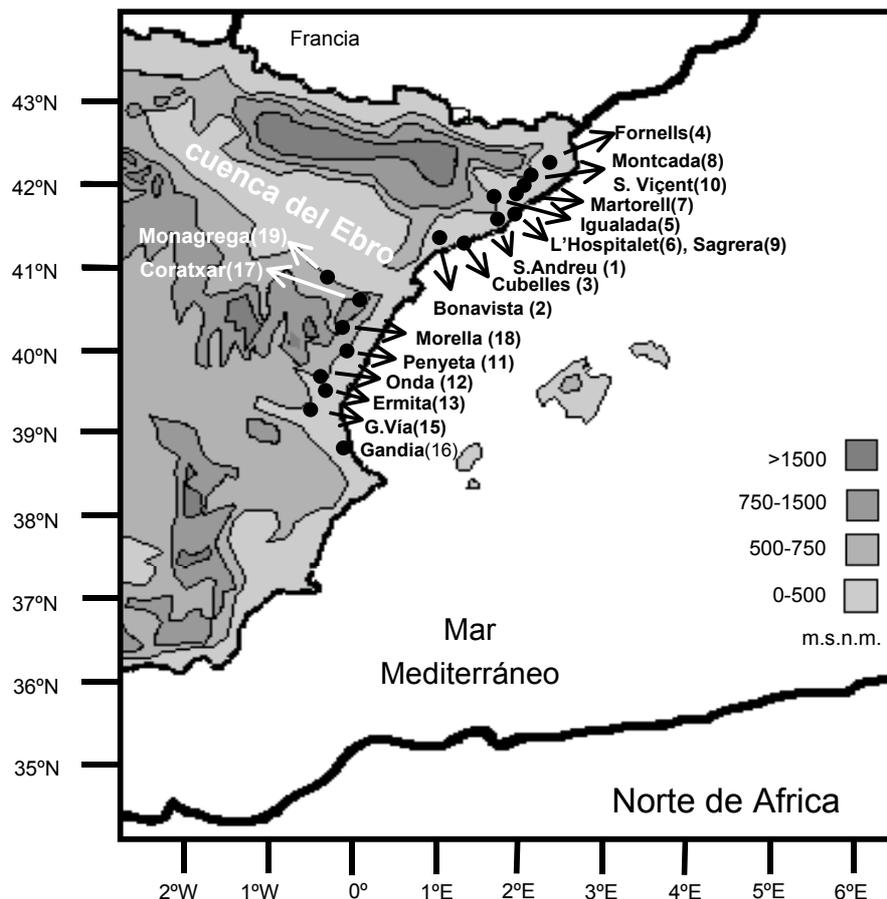


Figura 4.3.1. Localización de las estaciones de control de calidad del aire seleccionadas para el estudio de series de PST y PM10 en el sector mediterráneo entre 1996-2000.

4. Series temporales de PST y PM10 (1996-2000): **Mediterráneo**

Tabla 4.3.1. Relación y características de las estaciones seleccionadas para el estudio de series de partículas en suspensión en Cataluña, la Comunidad Valenciana y Aragón. P.I.: polígono industrial. C.T.: central térmica.

Nº	Nombre	Tipo	Coordenadas	Altitud (m)	Medida PST ó PM10
1	S.Andreu de la Barca	Industrial	41°26'52"N 01°58'09"E	33	Atenuación Beta
2	Bonavista	Industrial. P.I. Tarragona	41°07'01"N 01°11'40"E	40	Atenuación Beta
3	Cubelles	Suburbana C.T. Foix	41°12'40"N 01°14'34"E	15	Atenuación Beta
4	Fornells de la Selva	Suburbana	41°56'N 02°48'E	101	Atenuación Beta
5	Igualada	Urbana	41°34'48"N 01°37'35"E	320	Atenuación Beta
6	L'Hospitalet	Urbana de tráfico	41°22'12"N 02°06'57"E	30	Atenuación Beta
7	Martorell	Urbana de tráfico	41°29'00"N 01°56'00"E	40	Atenuación Beta
8	Montcada i Reixac	Industrial	41°28'59"N 02°11'21"E	33	Atenuación Beta
9	Sagrera	Urbana de tráfico	41°25'30"N 02°11'47"E	10	Atenuación Beta
10	S. Vicent dels Horts	Industrial	41°23'35"N 02°00'39"E	30	Atenuación Beta
11	Penyeta	Suburbana	40°01'34"N 00°03'50"W	93	Atenuación Beta
12	Onda	Industrial	39°58'30"N 00°15'00"W	167	Atenuación Beta
13	Ermita	Industrial de fondo	39°57'40"N 00°01'48"W	21	Atenuación Beta
14	Sagunto	Industrial de fondo	39° 40' 2" N 0° 14' 5" E	10	Atenuación Beta
15	Gran Vía	Urbana de tráfico	39°28'05"N 00°22'52"W	11	Atenuación Beta
16	Gandía	Urbana de tráfico	38°58'01"N 00°15'55"W	22	Atenuación Beta
17	Coratxar	Rural-Fondo	40°41'20"N 00°04'59"E	1235	Atenuación Beta
18	Morella	Rural	40°38'35"N 00°05'38"W	1153	Atenuación Beta
19	Monagrega	Rural	40°56'N 00°17'E	537	TEOM

A pesar de que el tratamiento estadístico de las series se ha realizado para las 19 estaciones del sector mediterráneo (10 estaciones en Cataluña, 8 en Valencia y 1 en Aragón), el estudio e interpretación de las series temporales de PST y PM10 se ha llevado a cabo con una selección de las mismas. Con este fin se han seleccionado las estaciones de Monagrega, Morella, Coratxar, L'Hospitalet, Sagrera, Fornells, Penyeta, Igualada y Onda. Es necesario destacar que las medidas de partículas en suspensión se efectuaron en forma de PST en todas las estaciones excepto en Monagrega, donde se ha medido PM10 en todo el periodo 1996-2000, y en Sagrera y L'Hospitalet, donde se ha medido PST entre 1996 y 1999, y PM10 en 2000.

4.3.2. Niveles de partículas

Los niveles medios anuales de PST, PM10, SO₂ y NO_x para el periodo 1995-2000 registrados en las estaciones seleccionadas se resumen en la Tabla 4.3.2. En 5 estaciones, 4 catalanas (Cubelles, Fornells, Martorell y Sagrera) y 1 valenciana (Gran Vía), se aprecia una tendencia decreciente en los niveles de PST desde el año 1995 al 2000, mientras que tan sólo una estación (Sagunto) muestra una tendencia creciente. En tres de las cuatro estaciones en las que se aprecia un descenso de los niveles medios anuales de PST (Cubelles, Martorell y Sagrera) se registra también de forma simultánea una disminución progresiva de los niveles anuales de NO_x y SO₂, lo cual no ocurre en Fornells. Es destacable el hecho de que un elevado número de estaciones muestra un máximo de partículas en 1997, año a partir del cual los niveles anuales de PST muestran una tendencia decreciente (S. Andreu, Cubelles, Fornells, Igualada, l'Hospitalet, Martorell, S.Viçent, Penyeta y Morella). Este comportamiento no se observa en los niveles de NO_x ni de SO₂. En algunas estaciones como Sagunto, Gandía, S.Andreu y S.Viçent se observa una marcada variabilidad inter-anual en los niveles de PST, llegando a ser del 50% en las dos últimas estaciones. Por el contrario, las estaciones rurales presentan valores de PST y PM10 muy estables (entre 12 y 20 µgPST/m³ en Coratxar, entre 17-21 µgPST/m³ en Morella, y entre 17-18 µgPM10/m³ en Monagrega).

Es necesario destacar una peculiaridad de las medidas de PST realizadas en las estaciones de Morella y Coratxar, ya que los niveles obtenidos son considerados equivalentes a los niveles de PM10. Las medidas simultáneas de PST y PM10 llevadas a cabo en este área, como se verá a continuación, demuestran la equivalencia entre ambos parámetros para estos entornos rurales. Por este motivo, mientras que para las estaciones urbanas e industriales se considera que el equivalente en PST del valor límite diario de 50µgPM10/m³ de la directiva 1999/30/CE es 60µgPST/m³ (aplicando el ratio PM10/PST=0.8 dictado por la directiva), para las estaciones rurales se considera 50µgPST/m³. Aunque se seguirá haciendo referencia a las medidas de Morella y Coratxar en términos de PST, debe tenerse presente que tales valores son considerados equivalentes a PM10.

Los niveles medios anuales de PST en las estaciones seleccionadas para el periodo 1996-2000 se resumen en la Tabla 4.3.3. A partir de este punto se consideran los datos de 1996-2000 debido a la ausencia de datos para 1995 en numerosas estaciones del estudio. En función de los resultados que se muestran en las Tablas 2 y 3 es posible establecer la siguiente clasificación de las estaciones de muestreo:

ESTACIONES RURALES: Monagrega, Morella y Coratxar. Estas estaciones presentan la media anual de niveles de partículas en suspensión más reducida, que oscila entre 16-21 µgPST/m³, que como se ha visto con anterioridad equivale a los mismos niveles de PM10. El número medio de superaciones anuales del equivalente al valor límite diario impuesto por la directiva 1999/30/CE para 2005 y 2010 (50 µgPM10/m³, equivalente a 60 µgPST/m³) varía entre 2 y 5 día al año. Estas estaciones se caracterizan por la ausencia de aportes directos de material particulado o contaminantes gaseosos de origen antropogénico, lo cual no implica su total aislamiento de este tipo de emisiones. Los niveles de NO_x registrados en este tipo de estación alcanzan desde 7-19 µg/m³, lo cual demuestra la ausencia de fuentes cercanas. En cuanto a los niveles de SO₂, solamente los registrados en Morella son representativos de este tipo de estación (6-11 µg/m³), ya que en Monagrega y Coratxar se detecta el impacto de las emisiones de la central térmica de Andorra (Teruel). Estas emisiones afectan a ambas estaciones durante periodos diferentes (Monagrega especialmente en verano, Coratxar en invierno), y provocan incrementos

marcados en los niveles anuales de SO₂ que pueden llegar a alcanzar 27 µg/m³ como media anual.

ESTACIONES URBANAS DE FONDO CON TRÁFICO LIGERO Y SUBURBANAS: Se trata de estaciones ubicadas en entornos urbanos aunque con influencia ligera de las emisiones del tráfico, por lo que sus niveles medios anuales de PST oscilan entre 27-39 µg/m³. El número de superaciones del valor límite diario de 2005 y 2010 puede alcanzar desde 15 hasta 30 días al año. Los niveles de NO_x en estas estaciones son así reducidos (23-42 µg/m³), y lo mismo ocurre con los de SO₂ (8-23 µg/m³). Para el estudio en detalle de este tipo de estación se han seleccionado las estaciones de Fornells y Penyeta.

Tabla 4.3.2. Niveles medios anuales de PST y PM10 (marcados con *) en Cataluña, Comunidad Valencia y Teruel (estación de Monagrega), se adjuntan también los niveles medios de NO_x y SO₂ como indicadores de la importancia de las emisiones locales o regionales. ND, disponibilidad de datos <60%.

Nº	Cataluña Nombre	MEDIA ANUAL (µg/m ³)			Nº	Nombre	MEDIA ANUAL (µg/m ³)		
		PST*	NO _x	SO ₂			PST	NO _x	SO ₂
1	S. Andreu	94	ND	13	2	Bonavista	61	35	8
	1995	67	ND	15		1995	67	39	15
	1996	83	ND	14		1996	54	40	12
	1997	127	ND	14		1997	63	33	11
	1998	117	ND	17		1998	64	33	6
	1999	78	68	9		1999	63	34	2
	2000	58*	75	9		2000	54	32	3
3	Cubelles	27	ND	21	4	Fornells	33	38	17
	1995	31	ND	ND		1995	38	29	10
	1996	28	ND	23		1996	34	37	17
	1997	30	ND	21		1997	39	41	21
	1998	30	ND	18		1998	34	42	20
	1999	26	ND	19		1999	30	40	14
	2000	19	ND	23		2000	25	39	19
5	Igualada	52	53	30	6	L'Hospitalet	46	90	13
	1995	48	50	49		1995	ND	ND	ND
	1996	53	52	37		1996	44	89	16
	1997	60	57	33		1997	51	95	13
	1998	56	53	30		1998	46	104	ND
	1999	49	53	19		1999	40	79	14
	2000	45	53	12		2000	49*	81	8
7	Martorell	54	118	15	8	Montcada	81	114	20
	1995	61	163	24		1995	87	120	27
	1996	55	144	19		1996	71	138	17
	1997	57	119	15		1997	82	149	15
	1998	57	106	12		1998	80	100	33
	1999	50	89	11		1999	74	85	23
	2000	46	87	9		2000	87	91	5
9	Sagrera	47	84	13	10	S. Viçent	73	ND	16
	1995	52	103	14		1995	78	ND	13
	1996	43	98	12		1996	ND	ND	10
	1997	51	93	12		1997	108	ND	12
	1998	48	73	16		1998	55	ND	23
	1999	43	62	11		1999	53	121	19
	2000	37*	76	12		2000	32*	81	21

4. Series temporales de PST y PM10 (1996-2000): **Mediterráneo**

C.Valenciana		MEDIA ANUAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					MEDIA ANUAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
Nº	Nombre	PST*	NO _x	SO ₂	Nº	Nombre	PST	NO _x	SO ₂
11	Penyeta	33	27	9	12	Onda	56	25	5
	1995	35	ND	ND		1995	ND	ND	ND
	1996	32	25	11		1996	ND	ND	ND
	1997	36	32	8		1997	50	28	5
	1998	35	32	8		1998	61	31	6
	1999	31	23	8		1999	55	27	6
	2000	32	25	10		2000	60	16	5
13	Ermita	77	46	7	14	Sagunto	62	94	7
	1995	ND	ND	ND		1995	64	ND	ND
	1996	ND	62	10		1996	53	162	13
	1997	70	68	9		1997	46	140	10
	1998	82	34	6		1998	50	119	9
	1999	82	44	7		1999	75	48	5
	2000	73	37	8		2000	76	71	4
15	Gran Vía	63	162	14	16	Gandía	74	40	4
	1995	83	ND	ND		1995	58	ND	ND
	1996	65	168	21		1996	78	41	6
	1997	68	186	14		1997	73	40	4
	1998	61	163	13		1998	88	47	4
	1999	53	168	12		1999	80	39	5
	2000	48	125	8		2000	70	33	4
17	Coratxar	16	12	17	18	Morella	20	10	9
	1995	ND	ND	ND		1995	18	ND	10
	1996	ND	15	18		1996	17	13	7
	1997	16	8	23		1997	21	9	11
	1998	20	10	10		1998	20	10	10
	1999	12	19	13		1999	19	10	6
	2000	15	10	21		2000	21	8	7

Teruel		MEDIA ANUAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					MEDIA ANUAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
Nº	Nombre	PST*	NO _x	SO ₂	Nº	Nombre	PST	NO _x	SO ₂
19	Monagrega	17*	8	21					
	1995	ND	ND	ND					
	1996	17*	7	27					
	1997	18*	8	20					
	1998	18*	7	21					
	1999	17*	8	20					
	2000	17*	8	15					

ESTACIONES URBANAS DE TRÁFICO: En estas estaciones se detecta un mayor grado de influencia de las emisiones ligadas al tráfico, ya que los niveles medios anuales de PST alcanzan entre 44-74 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$. La influencia de dichas emisiones en el entorno directo de las estaciones se refleja especialmente en los niveles de NO_x, ya que se registran valores de hasta 168 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como media anual. Los niveles de SO₂ suelen ser reducidos en estas estaciones (8-16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), aunque destaca la estación de Igualada por registrar niveles anormalmente elevados (12-49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). En estas estaciones se superaría el valor límite diario propuesto para 2005 y 2010 en promedio entre 60-80 días al año. Las estaciones de Sagrera, L'Hospitalet, Igualada han sido seleccionadas para el estudio en detalle de este tipo de estación.

4. Series temporales de PST y PM10 (1996-2000): **Mediterráneo**

Tabla 4.3.3. Niveles medios mensuales y anuales de PST y PM10 (marcados con asterisco) para el periodo 1996-2000, así como número de días con superaciones del valor límite diario, PM10 > 50 µg/m³ o PST > 50 (rural) o 60 (urbano/industrial) µg/m³. Para Sagrera y L'Hospitalet se consideran los datos de PST de los años 1996-1999.

Promedio	Monagrega*	Coratxar	Morella	Sagrera	L'Hospitalet	Igualada	Fornells	Penyeta	Onda
ENE	11	11	14	43	38	59	34	28	45
FEB	13	12	18	48	53	66	41	36	57
MAR	21	17	23	55	53	66	43	42	67
ABR	14	11	14	44	43	51	29	37	49
MAY	17	16	18	45	43	54	29	34	59
JUN	23	19	26	50	44	51	30	36	61
JUL	24	18	25	41	52	46	31	38	63
AGO	25	19	29	33	41	41	29	35	66
SEPT	21	16	24	40	40	45	27	30	62
OCT	17	13	19	48	55	51	30	31	56
NOV	11	9	14	40	47	49	31	25	48
DIC	8	8	12	47	39	51	33	26	46
Anual	17	16	20	44	46	53	32	33	57

PST>60µg/m ³	Monagrega*	Coratxar	Morella	Sagrera	L'Hospitalet	Igualada	Fornells	Penyeta	Onda
ENE	1	1	1	5	3	12	1	1	4
FEB	0	0	0	7	7	10	3	4	7
MAR	1	0	1	9	8	14	4	5	14
ABR	0	0	0	6	4	9	2	3	5
MAY	0	0	0	4	3	8	0	2	9
JUN	0	0	0	4	4	6	0	2	12
JUL	0	0	0	3	9	5	0	2	13
AGO	2	1	2	1	4	2	0	1	13
SEPT	0	0	0	2	2	4	0	1	11
OCT	0	0	1	7	10	7	1	2	9
NOV	0	0	0	4	5	7	0	1	4
DIC	0	0	0	5	4	11	1	1	3
Suma total	4	2	5	57	64	94	13	25	104

ESTACIONES INDUSTRIALES: los valores medios anuales de PST en este tipo de estación se encuentran dentro de un rango de 50-127 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$, y el número de superaciones ronda 100 días al año en promedio. Los niveles de SO_2 y NO_x en estas estaciones suelen ser los más elevados (5-33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 16-149 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente), aunque los niveles de NO_x presentan una mayor variabilidad y en ciertas estaciones (como Onda) pueden ser reducidos mientras que en otras (Montcada), muy elevados. Para el estudio en detalle se ha seleccionado la estación de Onda, ya que su carácter de fondo industrial permite apreciar la contribución de las emisiones industriales.

Esta clasificación de las estaciones en función de los niveles de PST se muestra en la Figura 4.3.2, en la que se ha representado también el rango de superaciones del valor equivalente al límite diario establecido por la directiva 1999/30/CE para 2005 y 2010. La figura demuestra el claro incremento de los niveles de PST y el número de superaciones desde las estaciones rurales a las industriales. El rango de variación de ambos parámetros también es mayor en las estaciones urbanas e industriales que en las rurales y de fondo urbano, debido a que la variedad de fuentes de emisión en las primeras es mayor que en las segundas.

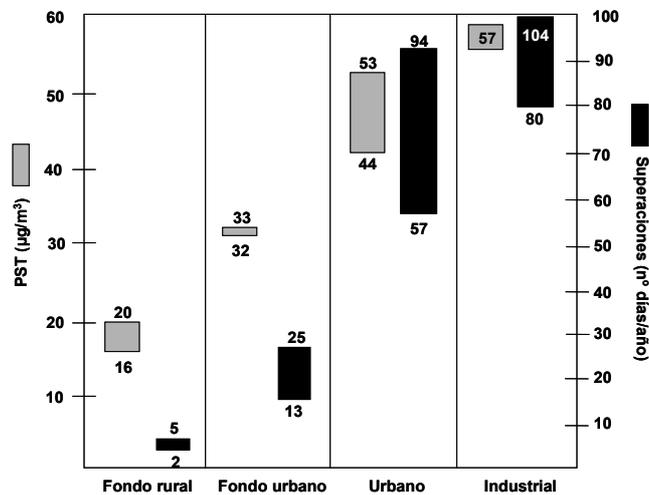


Figura 4.3.2. Rango de niveles medios anuales y del número medio anual de superaciones del valor límite diario según el tipo de estación para el periodo 1996-2000 en el sector mediterráneo.

Una vez revisados los datos obtenidos durante el periodo 1996-2000, en la Figura 4.3.3 se ha llevado a cabo una comparación entre los niveles medios anuales y el número de superaciones del valor límite diario para 2005 y 2010 registrados como media para el periodo 1996-2000 en las estaciones seleccionadas. Asimismo, éstos se han comparado con los límites diarios y anuales establecidos por la directiva 1999/30/CE (40 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ como media anual y 35 superaciones anuales del límite diario de 50 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en 2005; 20 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ como media anual y 7 superaciones anuales del límite diario de 50 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en 2010). La conversión de los valores límite de PM_{10} establecidos por la directiva a PST se ha realizado aplicando un ratio $\text{PST}/\text{PM}_{10}=1.2$, propuesto por la misma directiva. Los resultados demuestran que, por una parte, las estaciones rurales (Monagrega, Coratxar y Morella) presentan una media anual para los 5 años de 16-20 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ y entre 2 y 5 superaciones del valor límite diario, y por tanto cumplirían ambos valores límite establecidos por la directiva, aunque únicamente por un estrecho margen en el caso de 2010. Este tipo de estación sería así el único que cumpliría los límites propuestos para ambas etapas (2005 y 2010). Las estaciones urbanas de fondo con tráfico ligero y suburbanas (Fornells y Penyeta) presentan medias anuales entre 32-33 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$, por lo que excederían el valor límite anual para 2010 (20 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, equivalente a 24 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$), aunque no

así el límite de 2005 ($40 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, equivalente a $47 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$). En cuanto al número de superaciones, ambas estaciones cumplirían el límite establecido para 2005 ($n=35$), y excederían el límite de 2010 ($n=7$). Por otra parte, las estaciones urbanas de tráfico (L'Hospitalet, Sagrera e Igualada) así como las estaciones industriales (Onda) superarían ampliamente el valor límite anual de 2010 y asimismo superarían en su mayoría el límite anual permitido para 2005 (medias anuales de PST que varían entre $44\text{-}57\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ frente al límite de $47 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$). En cuanto al número de superaciones del valor límite diario, ninguna de las estaciones urbanas e industriales cumpliría con los requisitos propuestos para 2005 ni 2010.

A modo de resumen, a partir de los datos analizados para el periodo 1995-2000 en el sector mediterráneo, todas las estaciones a excepción de las rurales sobrepasarían el valor límite anual establecido para el año 2010, y las estaciones urbanas e industriales sobrepasarían o estarían muy próximas al límite anual para 2005. Las estaciones de fondo urbano cumplirían el valor límite anual para 2005. Por otra parte, el número de superaciones permitido para 2010 sería respetado únicamente por las estaciones rurales, mientras que el máximo número de superaciones permitido para 2005 se incumpliría en todas las estaciones urbanas e industriales. De nuevo, las estaciones de fondo urbano cumplirían el número máximo de superaciones para 2005.

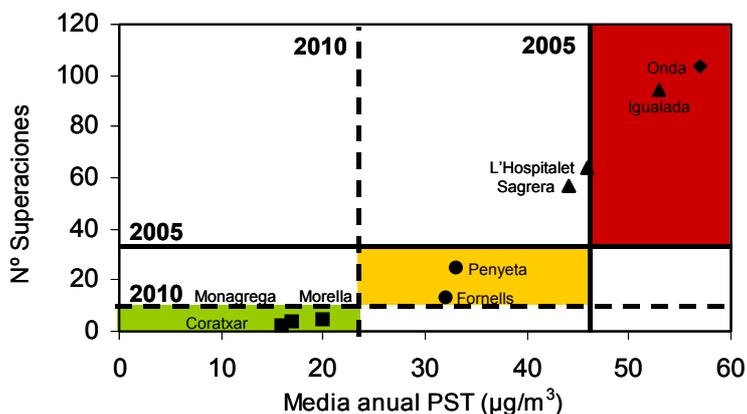


Figura 4.3.3. Evaluación del grado de cumplimiento de los requisitos impuestos por la directiva 1999/30/CE (promedio anual= $40 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en 2005, equivalente a $47 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ y $20 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en 2010, equivalente a $24 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, y número de superaciones de $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, equivalente a $60 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$), en función de los distintos tipos de estación: ■: estaciones de fondo rural; ●: estaciones urbanas con tráfico moderado; ▲: estaciones urbanas; ◆: estaciones industriales.

4.3.3. Variación interanual

Los niveles medios anuales de PST y PM10 reflejados en la Tabla 4.3.2 demuestran que para los cinco años de estudio no existe una tendencia general clara, al incrementar y disminuir los niveles de forma arbitraria a lo largo de los años en las distintas estaciones. Solamente se detecta un descenso progresivo en los niveles de partículas a lo largo del periodo en cinco estaciones, mientras que en una estación (Sagunto) incrementan de forma marcada. Los niveles medios anuales de partículas en el sector mediterráneo abarcan desde $16 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ (Coratxar) hasta $94 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ (S. Andreu), y la desviación típica de cada estación con respecto a la media del periodo es muy variable. Así, en estaciones con mayor grado de contaminación como S.Andreu y L'Hospitalet la desviación típica alcanza valores de $12\text{-}28 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, indicando la amplia variabilidad interanual de los niveles debido a las diversas fuentes de emisión. Por el contrario, en estaciones como Onda, Fornells y Penyeta la

desviación típica con respecto a la media anual se encuentra entre $2\text{-}5\ \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, y en las estaciones rurales de Morella y Monagrega se limita a $1\ \mu\text{gPST}/\text{m}^3$. Se concluye así que en las estaciones con menor influencia directa de fuentes antropogénicas la variabilidad interanual de los niveles de PST es menor. En cuanto a los niveles de partículas en los diferentes años de estudio, destacan los años 1997 y 1998 (en especial 1997) debido a que son en la mayoría de estaciones los más elevados del periodo. El factor que distingue estos dos años del resto es el impacto de las intrusiones africanas de los meses de Febrero y Marzo que, como se aprecia en la Figura 4, incidieron de forma significativa en los niveles de partículas en superficie.

Según muestra la Figura 4.3.4, los niveles medios mensuales de partículas en todas las estaciones se mantienen dentro de un rango entre $10\text{-}80\ \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ a lo largo de todo el periodo de estudio. Se observa la presencia habitual de un máximo de partículas a principios de año, que se detecta especialmente en 1997, 1998 y 2000 y que tiene su origen en los aportes de material particulado de origen africano. En estos mismos años y en 1996 se aprecia también un incremento entre Octubre y Noviembre, relacionado con las mismas contribuciones externas. En los meses de verano, y en las estaciones más contaminadas, las tendencias observadas en los niveles de partículas son más divergentes, y no parecen seguir un patrón común.

El número de superaciones (n) del valor límite diario se mantiene también dentro de un rango de 0-20 superaciones mensuales para todas las estaciones, con la única excepción de la estación de L'Hospitalet en 2000, que alcanza valores de hasta 30 superaciones mensuales en verano. En cuanto a la tendencia estacional de n, al igual que en el caso de las medias mensuales de PST se detectan en la mayoría de los años dos máximos entre Febrero-Marzo y Octubre-Noviembre, consecuencia de las contribuciones africanas. El año 2000 difiere de los anteriores en esta tendencia, ya que el número mensual de superaciones en las distintas estaciones varía de forma aleatoria.

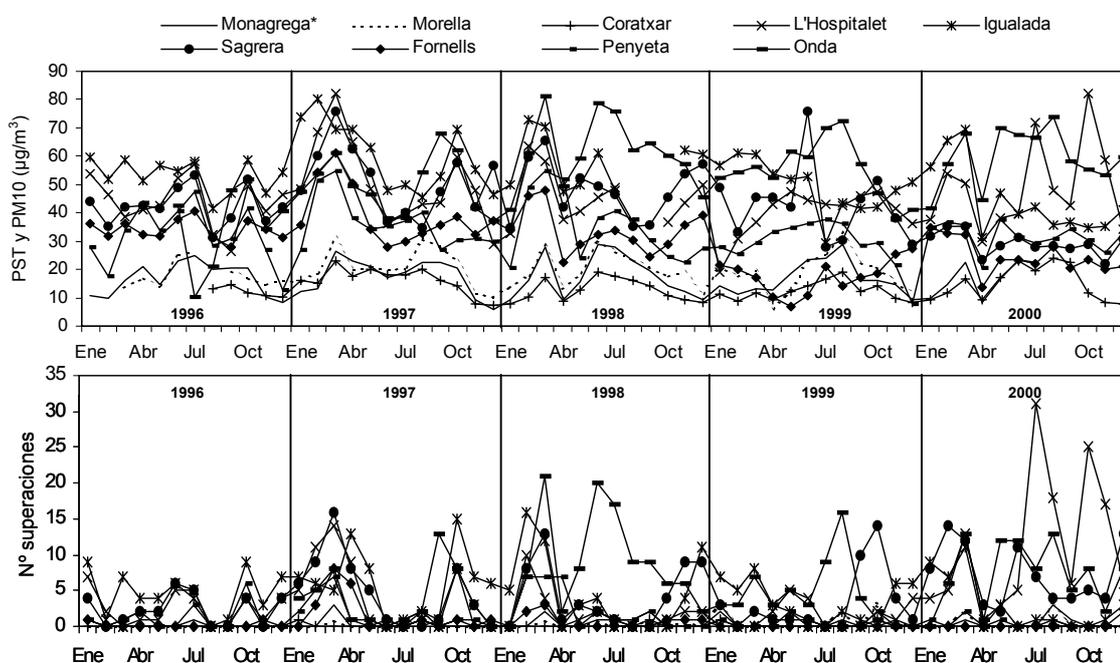


Figura 4.3.4. Variación interanual (1996-2000) de los promedios mensuales de PST y PM10* (en Monagrega) y del número de superaciones (n) del valor límite diario establecido por la directiva 1999/30/CE.

4.3.4. Variación estacional

En la Figura 4.3.5 se representan las medias mensuales de los niveles de PST y PM10 y del número de superaciones del valor límite diario para el periodo 1996-2000. El año 1995 no se ha considerado ya que no existen datos para todas las estaciones. Asimismo, la representación se ha limitado a 8 estaciones que indican las tendencias estacionales marcadas por los diferentes tipos de estación.

En las medias mensuales de PST y PM10 se observan dos tendencias estacionales diferentes (Figura 4.3.5). La primera de ellas es la definida por las estaciones rurales (Monagrega, Morella y Coratxar), y se caracteriza por presentar un máximo en los meses de verano (Junio-Septiembre) y un incremento puntual en el mes de Marzo. Dada la ausencia de fuentes antropogénicas directas en el entorno de estas estaciones, se deduce que estos incrementos tienen un origen natural y/o regional. Así, el primero de ellos (Febrero-Marzo) está relacionado con el transporte de material particulado desde el continente africano, que se produce de forma preferente en estos meses (ver apartado "Procesos comunes de control de los niveles de PST y PM10" en este capítulo). El segundo máximo registrado en las estaciones rurales (verano) se debe también a los aportes africanos pero además a procesos de recirculación regional de masas de aire, que favorecen la acumulación y resuspensión de material particulado natural pero también antropogénico en masas de aire envejecido (ver apartados posteriores en este capítulo). Estos procesos tienen su origen en las circulaciones atmosféricas locales regidas por la interacción de la radiación solar con la superficie terrestre, y por tanto su incidencia queda restringida casi exclusivamente al periodo estival. Es así que los menores niveles de PST y PM10 se registran en las estaciones rurales entre Octubre y Febrero.

La segunda tendencia estacional observada viene marcada por las estaciones urbanas (Sagrera, Igualada y L'Hospitalet), y es en cierto modo inversa a la descrita para las estaciones rurales. Ambas tendencias comparten el máximo registrado en los meses de Febrero-Marzo, ya que los aportes de masas de aire africano se producen generalmente de forma masiva y afectan a todas las estaciones por igual. Sin embargo, a partir de estos meses y hasta el mes de Agosto en las estaciones urbanas se observa un descenso gradual de los niveles de PST, que alcanzan valores mínimos en Agosto y Septiembre y sólo incrementan de nuevo a partir de Octubre. Así, mientras que en ambientes rurales los niveles máximos de partículas se registran en verano, es durante este mismo periodo cuando se registran los mínimos en las estaciones urbanas. Este descenso estival registrado en las zonas urbanas está relacionado con las mayores condiciones dispersivas de la atmósfera, ya que los contaminantes se diluyen relativamente en el mayor espesor de la capa de mezcla estival respecto al invernal. Inversamente, los niveles más elevados se registran en invierno debido a la menor capacidad dispersiva de la atmósfera (a excepción de Febrero-Marzo, cuando además se producen aportes africanos).

Al margen de estas dos tendencias se encuentran dos estaciones que no encajan adecuadamente con ninguna de ellas: Fornells y Onda. La estación de Fornells, clasificada como estación suburbana con tráfico ligero, se encuentra en un punto intermedio entre las estaciones rurales y las urbanas, y por ello su evolución estacional presenta características de ambas. Tras maximizar en Febrero-Marzo, los niveles de PST en Fornells incrementan hacia el verano de acuerdo con lo definido para las estaciones rurales, pero a diferencia de ellas los niveles siguen incrementando en invierno, como se registra en las estaciones urbanas. Esto indicaría que esta estación tiene una ubicación similar a la de las estaciones rurales y por ello sufre la influencia de los episodios de recirculación regional, pero al mismo tiempo se encuentra también

bajo la influencia de las emisiones del tráfico, que al concentrarse en invierno generan mayores niveles de PST.

Por último, la estación de fondo industrial de Onda no puede definir ninguna tendencia estacional para las estaciones industriales al tratarse de una sola estación, pero constituye un buen ejemplo para demostrar la mayor variabilidad de los promedios mensuales en este tipo de estación. En primer lugar, es necesario destacar que esta estación registra claramente la influencia de los aportes africanos, que se detectan en los meses de Febrero y Marzo. A continuación, tras un ligero descenso en Abril los niveles de PST vuelven a incrementar en Mayo y Junio y en los meses de verano. Finalmente, en Noviembre y Diciembre vuelve a producirse un cierto descenso. Consecuentemente, y dado su carácter de fondo industrial, los niveles de partículas en esta estación presentan una evolución estacional muy similar a la de las estaciones rurales, aunque con niveles de partículas más elevados.

A modo de resumen para todos los tipos de estación, es posible concluir que la variación estacional de los niveles de PST y PM10 en el sector mediterráneo viene determinada por los siguientes procesos:

- **Verano:** en las zonas urbanas e industriales las emisiones locales se diluyen relativamente respecto al invierno debido a las condiciones atmosféricas que favorecen la dispersión, como consecuencia del mayor espesor de la capa de mezcla. Al mismo tiempo, estas mismas condiciones atmosféricas dispersivas favorecen el transporte de los contaminantes emitidos en zonas urbanas e industriales hasta las zonas rurales, y es por ello que es en el periodo estival cuando las estaciones rurales registran los mayores niveles de partículas. Asimismo, en el verano la resuspensión de material particulado por las circulaciones convectivas es mayor que en invierno tanto en las zonas rurales como en las urbanas e industriales.
- **Otoño-invierno:** las condiciones atmosféricas típicas de invierno se caracterizan por la reducción del espesor de la capa de mezcla y la presencia frecuente de inversiones térmicas en superficie, lo cual resulta en la menor capacidad dispersiva de la atmósfera. Ello implica en las zonas urbanas e industriales la acumulación y concentración de los contaminantes atmosféricos, con lo que los niveles de partículas alcanzan un máximo invernal. Asimismo, la mayor estratificación y estabilidad atmosférica impide el transporte a escala regional de contaminantes, y por ello las estaciones rurales registran mínimos invernales de partículas.
- Al margen de estas diferencias invierno-verano, existen dos tipos de episodio que tienen un impacto notable en los niveles de partículas. El primero de ellos son las intrusiones de masas de aire africano, que se producen generalmente en Febrero-Marzo y en verano, como se verá en apartados posteriores (ver apartado "Procesos comunes de control de los niveles de PST y PM10" en este capítulo). El segundo de los procesos son los episodios de recirculación regional de masas de aire, característicos del levante peninsular durante el periodo estival (ver apartados posteriores).

El promedio mensual de superaciones para el periodo 1996-2000 (Figura 4.3.5) describe tendencias estacionales mucho más variables que los niveles de PST. Sin embargo, es posible identificar las estaciones rurales ya que presentan escasas superaciones mensuales, y éstas se concentran en los meses de Febrero y Marzo (debido a intrusiones africanas) y en verano (debido a los episodios regionales y a los aportes africanos). El resto de estaciones coincide en superar el valor límite diario en Febrero y Marzo, y en la mayoría de ellas el valor de n disminuye en verano (exceptuando Onda y L'Hospitalet). De esta manera, la tendencia estacional definida

por el número de superaciones en las estaciones urbanas coincide mayoritariamente con la definida por los niveles de PST. La estación de fondo industrial de Onda presenta una distribución bimodal en cuanto al número de superaciones medias anuales, registrándose el máximo de Febrero-Marzo (episodios africanos) y un incremento más prolongado durante el verano (episodios africanos y regionales, de nuevo similar a la registrada en las estaciones rurales).

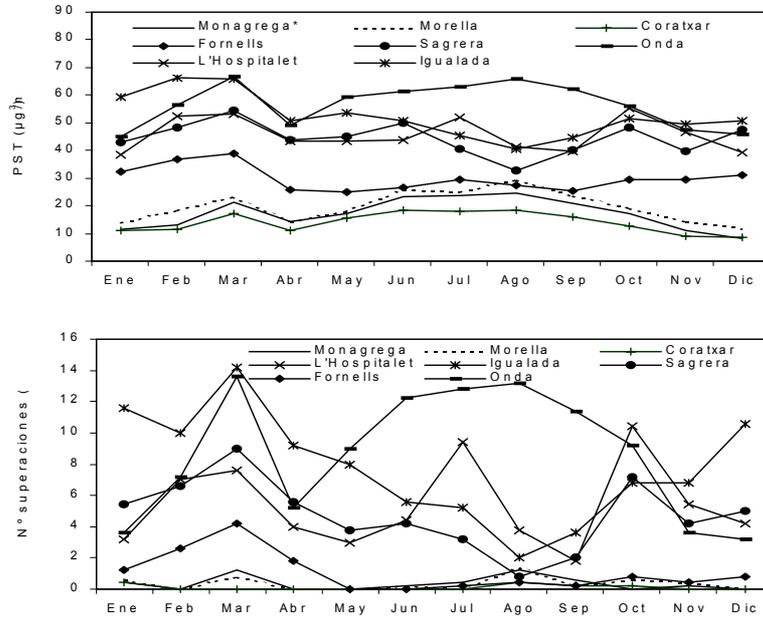


Figura 4.3.5. Evolución estacional de las medias mensuales de PST y PM10 (*) y el número de superaciones del valor límite diario ($50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) para el periodo 1996-2000.

Al mismo tiempo que los niveles de PST y de superaciones del valor límite diario en las diferentes estaciones, también se ha estudiado la evolución estacional de los niveles de NO_x , dado que se trata de un indicador del grado de influencia antropogénica en una estación. Así, en la Figura 4.3.6 se han representado conjuntamente los niveles medios mensuales para el periodo 1996-2000 de NO_x y PST o PM10 en cuatro estaciones representativas de las categorías definidas en apartados anteriores: estaciones rurales, urbanas con tráfico ligero, urbanas e industriales.

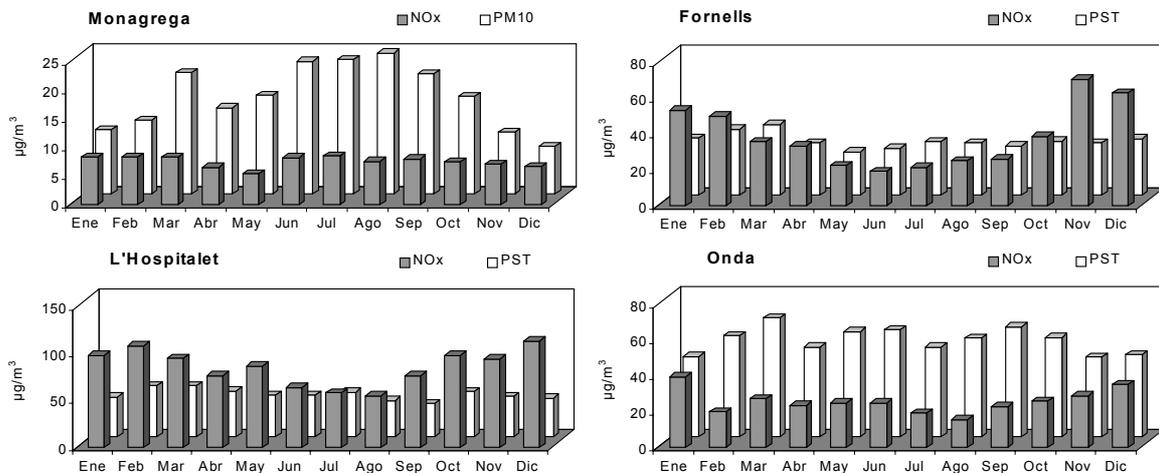


Figura 4.3.6. Promedio de los niveles mensuales de PST (PM10 en Monagrega) y NO_x en cuatro estaciones representativas de los cuatro ambientes definidos en la zona de estudio (rural, de fondo urbano, urbano con influencia de tráfico e industrial) durante el periodo 1996-2000.

Tal como muestra la figura, se distinguen dos tipos de tendencia estacional de los niveles de NO_x en función del tipo de estación:

- Estaciones rurales (Monagrega). En las estaciones rurales los niveles medios mensuales de NO_x se mantienen relativamente constantes a lo largo del año en concentraciones bajas ($<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) debido a la ausencia de fuentes directas. Los niveles de partículas, como ya ha sido descrito con anterioridad, presentan un máximo característico en verano.
- Estaciones urbanas e industriales (Fornells, L'Hospitalet y Onda). Mientras que los niveles de PST muestran diferentes tendencias estacionales en estos tres tipos de entorno, las concentraciones de NO_x siguen la misma evolución a lo largo del año para todos ellos. Así, los niveles de NO_x maximizan en invierno en Fornells, L'Hospitalet y Onda, como consecuencia de las condiciones atmosféricas que favorecen poco la dispersión de contaminantes. Esta tendencia es por tanto indicativa de la existencia de fuentes local de contaminación de origen antropogénico, y especialmente de aquellas ligadas a la actividad del tráfico. Los niveles de NO_x en estos entornos abarcan desde 16 hasta $114 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Como conclusión se puede destacar que en las estaciones rurales los niveles de PST o PM10 son independientes de las emisiones de NO_x , ya que los incrementos en los niveles de éstas últimas no afectan a las concentraciones de material particulado en suspensión. Por el contrario, en estaciones ubicadas en entornos urbanos e industriales es posible apreciar una relación indirecta entre NO_x y PST, ya que los niveles de NO_x son trazadores de las emisiones de tipo antropogénico ligadas al tráfico, que genera importantes concentraciones de material particulado en suspensión. De esta manera, ambos parámetros maximizan en invierno, aunque las fuentes de emisión causantes de los incrementos en los niveles de NO_x no sean la única causa de los aumentos de PST, sobre todo en verano.

A continuación, en la Figura 4.3.7 (izquierda) se ha representado la diferencia entre los niveles medios mensuales de PST obtenidos para el periodo 1996-2000 en diferentes tipos de estación (industrial, urbana y fondo urbano) y una estación rural (Morella). En la misma Figura (derecha), se describe la evolución semanal durante un mes (Julio de 1997) de los niveles de partículas en cuatro estaciones de muestreo. De esta manera se pretende estudiar la evolución semanal y estacional de los aportes locales de origen antropogénico.

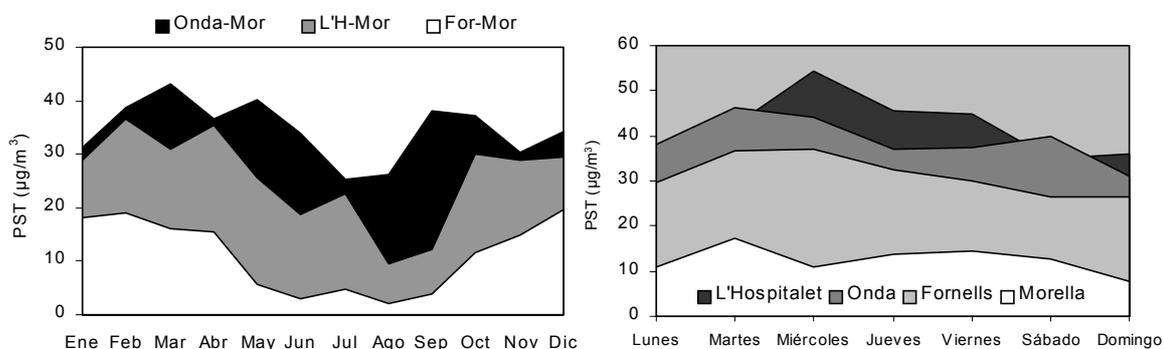


Figura 4.3.7. Izda: Evolución estacional de las diferencias entre los niveles medios mensuales de PST entre las estaciones de Onda (industrial), L'Hospitalet (L'H: urbana), Fornells (For: fondo urbano o suburbano) y Morella (Mor: rural) para el periodo 1996-2000. Dcha: Ejemplo de la evolución semanal de los niveles medios de PST (Julio de 1997).

Los resultados de la Figura 4.3.7 (izquierda) muestran dos tendencias diferentes, una de ellas definida por la estación industrial (Onda-Mor), y la otra por las estaciones urbanas (L'H-Mor y For-Mor). Tal como se observó en la figura que representa la variación estacional de los niveles de PST (Figura 4.3.5), los niveles medios mensuales de partículas en la estación de Onda presentan un máximo estival. De este modo, al sustraer las concentraciones de la estación de Morella (también con máximo de verano) a las de Onda, el resultado es una diferencia constante de partículas en torno a 30-40 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$. Así, se concluye que los niveles de partículas registrados en Onda son debidos esencialmente a las emisiones locales o regionales, y no dependen de los niveles de fondo de la zona.

Por otra parte, al restar las concentraciones obtenidas en Morella de las registradas en L'Hospitalet y en Fornells se obtiene como resultado un marcado mínimo estival que indicaría que, durante este periodo, los niveles de partículas en las estaciones urbanas se aproximan a los de las estaciones rurales. Este hecho está relacionado con la incidencia de episodios de recirculación regional de masas de aire, que favorecen el aumento de los niveles de PST y PM10 en estaciones rurales. Por el contrario, en invierno las diferencias entre estaciones son mucho más acusadas, e incrementan hacia las estaciones más contaminadas (de Fornells a L'Hospitalet), como consecuencia de la acumulación de contaminantes en el entorno de los focos de emisión. Dado que en general las emisiones relacionadas con el tráfico pueden considerarse constantes a lo largo del año, las mayores diferencias registradas en invierno son debidas a la menor capacidad dispersiva de la atmósfera.

Los niveles medios mensuales de PST en la estación de Onda superan en ~ 40 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ a los de fondo rural durante la mayor parte del año, y esta diferencia disminuye únicamente en los meses de Julio y Agosto, en los que desciende a un mínimo de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por el contrario, la diferencia entre los niveles en las estaciones urbanas y la rural es muy variable a lo largo del año, y oscila entre 20-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en invierno y únicamente entre 5-14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en verano. Así, debido esencialmente a los procesos de resuspensión de material particulado y de recirculación regional de masas de aire, en verano puede llegar a existir una diferencia de tan sólo 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre una estación de fondo urbano y una de fondo regional.

En la Figura 4.3.7 (derecha) se muestra la evolución semanal de los niveles de PST para un mes concreto (Julio de 1997). Con esta representación se evidencia el impacto de las emisiones antropogénicas (en su mayoría aquellas ligadas al tráfico) sobre los niveles de partículas en aire ambiente a escala semanal. La tendencia observada, que se repite en la mayor parte de los meses del año, describe valores mínimos a principios y finales de la semana, mientras que los máximos se reparten de forma heterogénea en función de la estación entre Martes y Viernes. Este resultado indica la acumulación de los contaminantes antropogénicos durante los días de máxima emisión (Lunes-Viernes). Esta tendencia es más marcada en las estaciones urbanas e industriales que en la rural (Morella), aunque en esta última también se detectan ligeros descensos durante el fin de semana.

Las diferencias entre los máximos niveles registrados entre semana y los mínimos del fin de semana dependen del tipo de estación, e incrementan con el grado de contaminación de la misma. De esta manera, las mayores diferencias se registran en L'Hospitalet (24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Onda (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Fornells (11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Morella (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La diferencia es mayor en L'Hospitalet que en Onda debido a que el principal foco de emisión en L'Hospitalet es el tráfico local mientras que en Onda es la industria, con un ciclo de emisiones semanal menos marcado.

4.3.5. Áreas fuente: Interpretación de diferentes escenarios de transporte

Tras analizar el impacto de las emisiones de origen local en los niveles de material particulado en las estaciones del sector mediterráneo, es necesario estudiar también los aportes recibidos desde largas distancias por medio de procesos de advección de masas de aire. Estos procesos pueden incrementar la concentración de partículas en aire ambiente por medio de aportes externos (por ejemplo, partículas africanas) o disminuirla a través de la renovación de las masas de aire contaminado por focos locales.

Para llevar a cabo este estudio se han definido 6 sectores o áreas fuente (Figura 4.3.8) desde las cuales las masas de aire alcanzan la zona de estudio. Estas áreas fuente son: Atlántico Noroeste (ANW), Atlántico Oeste (AW), Atlántico Sudoeste (ASW), Norte de África (NAF), Europa (EU) y Regional (RE). La cuenca mediterránea presenta singularidades meteorológicas que la diferencian de entornos como la cornisa cantábrica o el Sur peninsular, y que quedan patentes a través de la especial importancia del sector Regional. Este sector se ha definido con el fin de incluir en el análisis aquellos episodios asociados a procesos de transporte regional o de recirculación de masas de aire y contaminantes. El estudio del origen de las masas de aire se ha realizado mediante el cálculo de retrotrayectorias isentrópicas para 5 días a tres alturas diferentes (750, 1500 y 2500 m.s.n.m.).

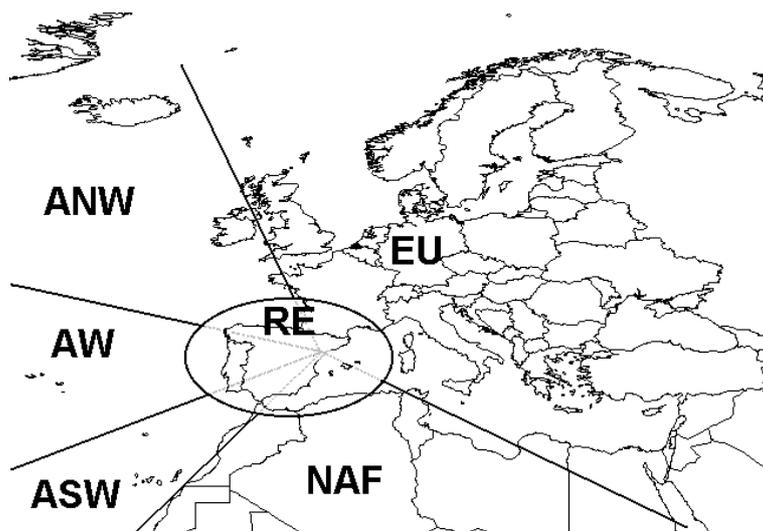


Figura 4.3.8. Sectores o áreas fuente definidos para el estudio de retrotrayectorias.

Los resultados del análisis de retrotrayectorias para todo el periodo de estudio se muestran en la Tabla 4.3.4. Según estos resultados, las masas de aire que alcanzan el Este peninsular lo hacen principalmente desde el Oeste, llegando desde el Atlántico (54% de los días), repartidas entre Noroeste (25%), Oeste (16%) y Sudoeste (13%). Esta elevada frecuencia de los sectores Atlánticos se deriva de la circulación general de latitudes medias, a través de los sistemas meteorológicos sinópticos característicos del Atlántico Norte y Europa Occidental. La mayor frecuencia de trayectorias del Atlántico Noroeste (25%) se debe a que estas son causadas por la circulación alrededor del anticiclón de las Azores, sistema de presiones que con mayor frecuencia afecta a la Península Ibérica. Las trayectorias que proceden del Atlántico Oeste (16%) y Sudoeste (13%) se dan con menor frecuencia, debido a que las situaciones meteorológicas que las causan son menos habituales. Las primeras (AW) están típicamente asociadas a la circulación impuesta por borrascas que se aproximan a la costa occidental de Europa desde el Atlántico, mientras que las segundas (ASW)

están relacionadas con la circulación ciclónica en torno a sistemas de bajas presiones situados al Oeste de Portugal o sobre la Península Ibérica. Aunque el transporte atlántico es predominante en esta zona (54% de los días), éste es menos frecuente que en el Norte de la Península Ibérica donde se alcanza el 77% de los días (Querol et al., 2003a).

Las trayectorias procedentes del continente europeo (incluyendo el sector mediterráneo) aparecen en segundo lugar en cuanto a la frecuencia con la que se producen (20% de los días). Estas trayectorias pueden llegar desde distintas regiones en función de los escenarios meteorológicos que las originen: desde Europa Occidental (anticiclón extendiéndose desde el Atlántico Norte sobre Europa Occidental) o desde Europa del Este (altas presiones sobre Europa del Este o depresión sobre el Mediterráneo).

Tabla 4.3.4. Frecuencias medias de procedencia de masas de aire (número medio de días por mes para cada procedencia y % anual) según los resultados del análisis meteorológico y de retrotrayectorias realizado para cada uno de los años de 1996-2000 en una estación central del sector mediterráneo. En la parte inferior de la Tabla se muestran los niveles medios de PST y PM10 (marcado con asterisco) en cada una de las series seleccionadas para los días de los grupos de patrones de transporte definidos. Las áreas fuente según el análisis de las retrotrayectorias se han clasificado en: ANW: Atlántico Noroeste; AW: Atlántico Oeste; ASW; Atlántico Suroeste; NAF: Norte de África; RE: Regional; EU: Europa.

	Áreas fuente					
	ANW	AW	ASW	NAF	RE	EU
Ene	5	6	5	7	2	6
Feb	12	3	2	3	2	7
Mar	10	3	3	5	3	7
Abr	10	7	3	1	4	6
May	3	6	8	6	2	6
Jun	6	3	7	4	4	6
Jul	9	4	2	4	9	4
Ago	5	2	5	6	9	4
Sep	6	5	3	3	4	8
Oct	10	5	4	4	3	5
Nov	10	9	2	1	1	6
Dic	8	7	6	2	3	5
TOTAL	91	59	49	46	45	73
	Frecuencia anual media					
	25%	16%	13%	13%	12%	20%
	PST y PM10* ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) media según procedencias					
Monagrega*	14	11	15	26	23	18
Coratxar	12	11	14	20	18	15
Morella	14	12	14	23	20	17
Fornells	28	27	26	34	32	33
Penyeta	30	32	33	44	37	32
Sagrera	39	40	40	50	44	44
L'Hospitalet	44	45	43	55	52	45
Igualada	49	50	49	60	55	54
Onda	49	51	59	71	64	55

Por otra parte, las trayectorias procedentes del Norte de África se registran en promedio el 13% de los días, y tienen lugar durante periodos en los que la meteorología esta dominada por el anticiclón Norteafricano o por una borrasca frente a la costa de Portugal (Rodríguez et al., 2001). En la mayoría de estos días, este

escenario de transporte causa la llegada de oleadas de polvo africano a la Península Ibérica, y en particular al Este peninsular.

Por último, las trayectorias denominadas regionales aparecen en último lugar en cuanto a frecuencia (12%). Estos escenarios de transporte son característicos del levante peninsular dadas sus características orográficas y meteorológicas, y no se producen de forma significativa en el País Vasco ni en Canarias. Durante el verano estas trayectorias se producen en situaciones de pantano barométrico o como resultado de la circulación alrededor del pequeño núcleo anticiclónico que con frecuencia se manifiesta entre Baleares y la costa valenciana, creando un proceso de recirculación de las masas de aire sobre el Este peninsular, y asimismo como resultado de la circulación alrededor de la baja térmica estival peninsular. Durante el invierno las trayectorias regionales son mucho menos frecuentes, y están asociadas a situaciones de estabilidad anticiclónica sobre el centro peninsular. Es necesario resaltar así la marcada estacionalidad de estas trayectorias, que se producen en promedio 9 días al mes en Julio y Agosto frente a 1-2 días/mes en Enero o Noviembre.

La carga particulada asociada a cada una de las áreas fuente anteriormente citadas varía en función del grado de contaminación de la estación de muestreo. En este punto son especialmente importantes las estaciones de tipo rural, dado que en ellas el aporte de partículas debido a fuentes locales es mínimo, y por lo tanto son lugares apropiados para caracterizar los aportes causados por los procesos de transporte a larga distancia en la atmósfera. Por el contrario, en las zonas urbanas e industriales, dado que se reciben aportes locales de partículas, la variación de los niveles de partículas está controlada por demasiados factores para poder identificar con claridad los aportes desde largas distancias.

Tal como cabía esperar, las estaciones rurales registran los niveles más bajos para todas las procedencias, como muestra la Tabla 4.3.4. En las tres estaciones (Monagrega, Morella y Coratxar) los niveles más bajos de PST y PM10 aparecen ligados a masas de aire de origen atlántico Oeste, y los niveles medios obtenidos para los días con predominio de este escenario de transporte varían entre 11-15 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ (es necesario recordar que para las estaciones rurales se consideran los niveles de PST equivalentes a PM10). Dentro de las masas de aire de origen atlántico, aquellas procedentes del Sudoeste conllevan las concentraciones más elevadas debido a que este tipo de trayectorias suele registrarse antes y después de episodios de intrusión de masas de aire africano. En el extremo opuesto, los niveles más altos de partículas están asociados a masas de aire africano (20-26 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$) y de origen regional (18-23 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$), mientras que las trayectorias procedentes del sector europeo presentan valores intermedios (15-18 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$). Consecuentemente, en las estaciones rurales las concentraciones de partículas asociadas a episodios africanos y regionales duplican las registradas bajo episodios de advección atlántica, lo cual demuestra tanto la importancia de las contribuciones externas como la capacidad de renovación de las masas de aire de los procesos de advección atlántica. A pesar de que debido a su origen podrían llevar asociadas elevadas cargas de partículas, las trayectorias europeas no presentan niveles especialmente elevados en comparación con las africanas y regionales. Esto se debe a que de entre los distintos patrones sinópticos que inducen el transporte de masas de aire europeo hacia el Este peninsular se encuentran situaciones que pueden venir acompañadas de lluvias, lo cual induciría el lavado atmosférico durante el transporte. En otras muchas ocasiones las entradas de aire desde Europa Occidental y Central en la cuenca mediterránea tienen lugar de forma abrupta, acompañada del paso de un frente frío, lo cual favorece la disminución de partículas en suspensión mediante el mismo mecanismo que las entradas de aire atlántico.

Como queda manifiesto en la Tabla 4.3.4, en el resto de estaciones, ubicadas en entornos urbanos e industriales, la gradación de niveles de partículas en función del área fuente (Africano>Regional>Europeo>Atlántico) es la misma que la descrita para las estaciones rurales. Así, los niveles de partículas más bajos (asociados a trayectorias atlánticas) varían desde 26-28 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en estaciones de fondo urbano hasta 49-59 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en la estación industrial de Onda. Lo mismo ocurre con las masas de aire de origen africano, que en las estaciones de fondo urbano inducen niveles de 34-44 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$, mientras que en Onda alcanzan 71 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$. Queda patente así de nuevo la clasificación de estaciones (rurales, fondo urbano, urbanas e industriales) realizada al inicio de este capítulo.

Es importante destacar que en las estaciones urbanas e industriales no se observan diferencias tan marcadas entre los niveles de partículas registrados para cada área fuente, de modo que existe solapamiento entre las concentraciones asociadas a sectores distintos. A modo de ejemplo, en la estación industrial de Onda los niveles de PST registrados bajo escenarios de transporte europeo (55 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$) están englobados dentro del rango propio de las trayectorias atlánticas (49-59 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$). Esta similitud entre las concentraciones de PST bajo distintos escenarios de transporte es debida a la interferencia de las emisiones locales con los aportes externos, que impiden identificar las concentraciones de PST que se encuentran ligadas a dichos aportes.

Por último, en las estaciones rurales los niveles de partículas del sector regional están claramente diferenciados del resto de áreas fuente, mientras que en las estaciones urbanas no lo están tanto. Esto se debe a que en los patrones de transporte regionales las zonas urbanas e industriales actúan como “áreas fuente” de las partículas que se registran en las estaciones rurales, que a su vez se convierten en “puntos receptores” para las emisiones urbanas e industriales

4.3.6. Procesos comunes de control de niveles de PST

Una vez alcanzado este punto en el estudio de niveles de PST y PM10 en el sector mediterráneo, se ha logrado identificar cuatro tipos de entorno (rural, de fondo urbano, urbano e industrial) y describir para cada uno de ellos los niveles de partículas característicos y su evolución estacional, así como la influencia que sobre ellos ejercen los aportes locales y externos. Dentro de cada tipo de entorno las diferentes estaciones presentan particularidades propias, pero a pesar de ello se han detectado periodos en los que la distribución de los niveles de partículas es similar en todas ellas, lo cual pone de manifiesto la existencia de procesos comunes de control de los niveles de PST y PM10 en toda la zona. Los más importantes de estos procesos son:

1. Intrusiones de masas de aire africano
2. Episodios de recirculación regional de masas de aire
3. Advección de masas de aire de origen atlántico

4.3.6.1. Intrusiones de masas de aire africano

Los procesos de advección de masas de aire de origen africano con elevada carga particulada generan un gran impacto sobre los niveles de partículas en aire ambiente en la zona de estudio, tanto en estaciones rurales como urbanas e industriales. Estos episodios se producen como consecuencia de escenarios meteorológicos concretos, y por lo tanto presentan una marcada estacionalidad. Los episodios de transporte de polvo desde el Norte de África hacia el Este peninsular son inducidos esencialmente por dos tipos de situaciones meteorológicas: por borrascas situadas al Oeste o

Sudoeste de Portugal (principalmente en primavera), o por efecto del anticiclón norteafricano, especialmente en su ubicación sobre Argelia (con mayor frecuencia en Febrero-Marzo y en verano), o por la simultaneidad de ambos patrones meteorológicos (Rodríguez et al., 2001). A lo largo de los cinco años de estudio se han detectado con regularidad episodios durante estos meses, aunque en ocasiones se han producido también a finales de año (Octubre-Noviembre). A lo largo del periodo de estudio (1996-2000) se ha detectado un total de 46 episodios de intrusión de masas de aire africano (una media aproximada de 9 episodios/año), repartidos en los trimestres del año de la siguiente manera: Enero-Marzo=15; Abril-Junio=11; Julio-Septiembre=15; Octubre-Diciembre=5. La duración de los episodios es mínima en Enero-Marzo (2.4 días/episodio) y máxima en verano (Junio-Septiembre, 4.5 días/episodio). Los episodios de finales de año tienen una duración media de 3.1 días.

Febrero-Marzo: El escenario meteorológico que domina en este tipo de episodio viene determinado por el anticiclón del Norte del África, que durante este periodo se encuentra ubicado en superficie y puede oscilar longitudinalmente y llegar a situarse desde la costa atlántica hasta las proximidades del mar Mediterráneo (Rodríguez et al., 2001). Este centro de altas presiones induce el desplazamiento de masas de aire africano desde el continente hacia la Península Ibérica formando un arco sobre el océano. La inyección de polvo en las citadas masas de aire se produce mayoritariamente en el área que cubre el desierto del Sahel, aunque en el proceso de transporte se acumula también material particulado de origen sahariano. Así, las masas de aire que transportan el polvo africano alcanzan la Península Ibérica (y el Este peninsular) desde el Oeste o el Noroeste. Por lo tanto, para que el material particulado alcance la costa mediterránea de la península es necesaria la presencia de un centro de bajas presiones ubicado al Oeste de la misma, que imprima un cambio de dirección de las masas de aire hacia el Este. Asimismo, la llegada del material particulado al Levante peninsular puede producirse también desde el Norte-Noroeste, a través del valle del Ebro, siguiendo la trayectoria curva anticiclónica en el caso de no hallarse ningún centro de bajas presiones que la desvíe (Millán et al., 1991). En estos casos el transporte está impulsado exclusivamente por el anticiclón del Norte de África, el cual se encuentra en su ubicación más septentrional.

Durante los cinco años del periodo de estudio (1996-2000), entre Enero y Marzo se detectaron 15 episodios de intrusión de masas de aire africano, con una media de tres episodios anuales. La intensidad máxima de estos episodios alcanzó $120 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ como media de las estaciones urbanas e industriales y de hasta un máximo de $80 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en Monagrega (fondo rural), y los mínimos se registraron en $40 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en las estaciones urbanas e industriales y $20 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en Monagrega.

Un ejemplo de este tipo de episodio se representa en la Figura 4.3.9, en la que se muestra la serie temporal de niveles de PST y PM10 para el periodo 22/02/98-14/03/98, y el mapa de presiones en superficie para el día 04/03/98. Este episodio de aporte de polvo africano se produjo por efecto del desplazamiento hacia el Este del anticiclón del Norte de África, que impulsó el transporte de masas de aire hacia la península siguiendo una trayectoria anticiclónica, como indica el mapa de presiones. La serie temporal de niveles de partículas registra un incremento paulatino desde el día 03/03/98 hasta el día 05/03/98, en el que el aporte africano alcanza su máxima intensidad. Después de esta fecha, los niveles disminuyen hasta que en el día 09/03/98 alcanzan los niveles registrados antes del episodio. Es importante destacar que entre los días 21/02/98 y 021/03/98 se registró un incremento en los niveles de las estaciones urbanas e industriales debido a emisiones locales, y que éste no se aprecia en los niveles de las estaciones rurales. Por el contrario, los aportes de origen africano se detectan en todos los tipos de estación. Los niveles medios diarios más elevados se registraron en la estación de fondo industrial de Onda ($135 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$) y en la

urbana de Igualada ($114 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$), y los mínimos en las estaciones rurales de Monagrega y Morella ($60 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$).

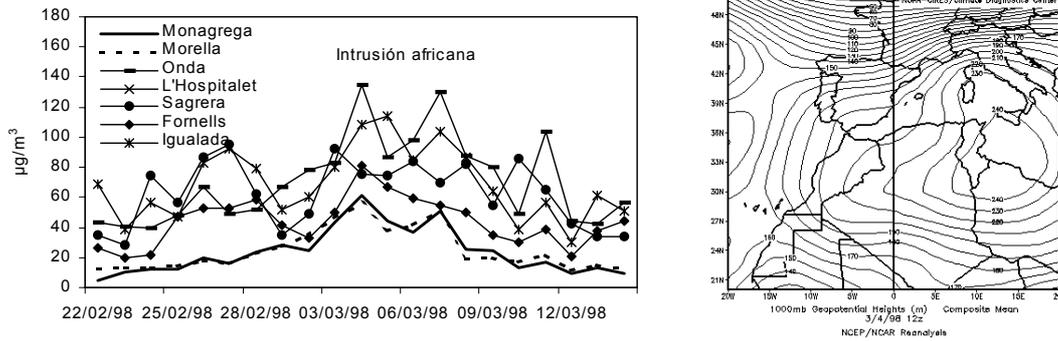


Figura 4.3.9. Ejemplo de intrusión de masas de aire africano ocurrido entre el 03/03/98 y el 08/03/98. Serie temporal de niveles de PST y PM10 (en Monagrega). Escenario meteorológico en superficie (1000 mb) para el día 04/03/98, en el que se muestra el anticiclón del Norte de África en su posición más oriental, y se indica el transporte de masas de aire desde el continente africano hacia la península en trayectoria anticiclónica.

Junio-Septiembre: El segundo tipo de intrusión de masas de aire africano sobre el Levante peninsular se produce de forma característica en los meses de verano, y se produce de forma casi exclusiva por la acción del anticiclón del Norte de África. Las elevadas temperaturas sobre el desierto del Sahara en este periodo generan la inyección de cantidades importantes de material particulado en la atmósfera, que se sitúan a una altitud aproximada de 1500 m.s.n.m. formando la denominada Capa de Aire del Sahara (Prospero y Carlson, 1981). Al desplazarse hacia mayores latitudes (sobre la península), el material particulado que conforma esta Capa puede ser interceptado por las circulaciones convectivas locales, y así descender a la superficie e impactar sobre los niveles de partículas en aire ambiente. La entrada de polvo africano se produce así en estos casos de forma más masiva, cubriendo una superficie mayor que la pluma de partículas descrita para los episodios de Febrero-Marzo. Asimismo, la entrada de las masas de aire africano se produce generalmente de Sur a Norte sin sobrepasar el océano Atlántico. Durante el periodo de estudio se registró un total de 15 episodios entre Julio y Septiembre, y 11 entre Abril y Junio (la mayoría de ellos en Junio). Estos episodios se produjeron una media de 2.6 veces al año, y su duración media fue de 4.5 días/episodio. Los mayores niveles de PST alcanzados bajo estas situaciones fueron $80 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ como media en las estaciones urbanas e industriales, y hasta $70 \mu\text{gPM10}/\text{m}^3$ en la estación de fondo regional de Monagrega, y los mínimos fueron $30 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en estaciones urbanas e industriales ($17 \mu\text{gPM10}/\text{m}^3$ en Monagrega).

La Figura 4.3.10 muestra un ejemplo de este tipo de episodio ocurrido en Junio de 1998. Debido a la antigüedad del episodio la disponibilidad de los mapas de aerosoles es muy limitada, y solamente están disponibles las imágenes TOMS. Estas imágenes muestran la entrada de la masa de aire desde el Sudeste de la Península Ibérica y su impacto directo sobre las costas valenciana y catalana. Este impacto se refleja en las series de niveles de PST y PM10 en forma de incrementos de $>60 \mu\text{gPM10}/\text{m}^3$ en la estación de Monagrega, y de hasta $120 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en la estación industrial de Onda.

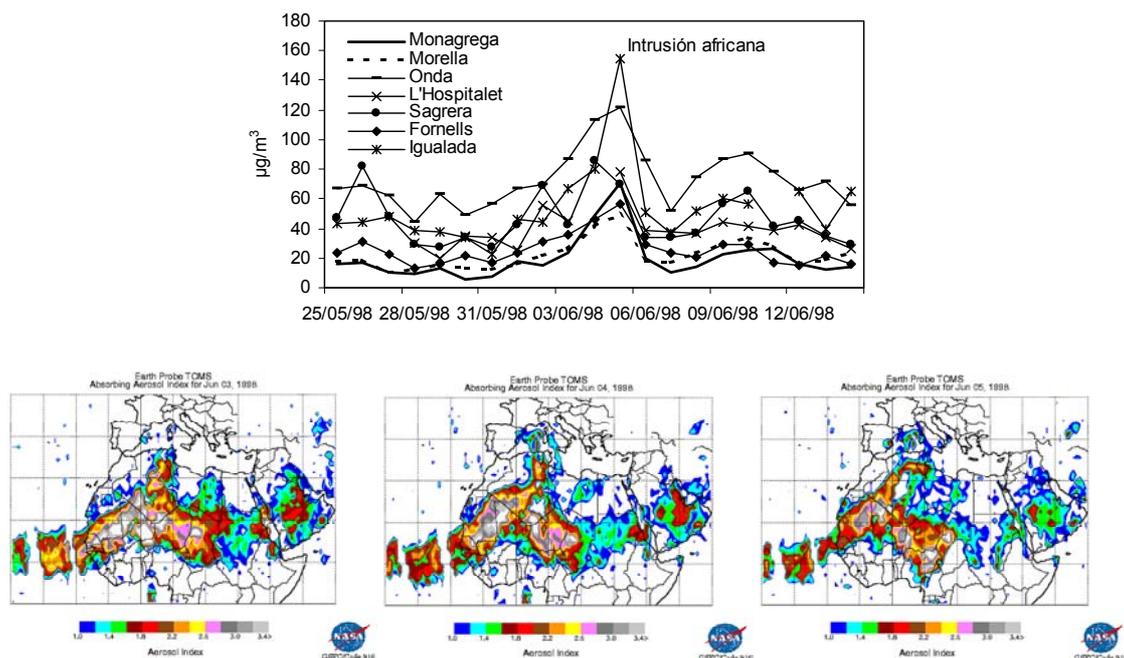


Figura 4.3.10. Ejemplo de intrusión de masas de aire africano ocurrido entre el 03/06/98 y el 06/06/98. Serie temporal de niveles de PST y PM10 (Monagrega) y mapas de aerosoles TOMS para los días 03-05/06/98.

4.3.6.2. Episodios de recirculación regional de masas de aire

Los episodios de recirculación regional de masas de aire se producen de forma característica en el Levante peninsular debido a sus singularidades geográficas y climáticas. El sector mediterráneo de la Península Ibérica presenta rasgos meteorológicos bien diferenciados respecto a regiones del Centro y Norte de Europa así como de las regiones atlánticas de la península, que se derivan de su ubicación con respecto a los principales sistemas meteorológicos sinópticos en la zona, a la orografía que rodea al sector occidental de la cuenca mediterránea y al elevado grado de insolación y escasa pluviometría (Millán et al., 1997). La meteorología y la procedencia de las masas de aire que alcanzan la Península ibérica están altamente influenciadas por los desplazamientos y ubicación del anticiclón de la Azores. Durante el invierno el anticiclón se encuentra en su estadio de mínima intensidad y desplazado hacia el Oeste, ubicándose sobre el Atlántico. Bajo estas condiciones, las borrascas características de la circulación zonal de latitudes medias descienden latitudinalmente y circulan por el golfo de Vizcaya o sobre la propia Península Ibérica, dando como resultado la entrada de aire atlántico en la cuenca mediterránea. De forma ocasional se pueden producir situaciones anticiclónicas sobre la Península, generando condiciones de tiempo seco y estable en el invierno (Rodríguez et al., 2002a).

Durante la primavera, por otra parte, el anticiclón de la Azores comienza a aumentar en intensidad, de modo que se alternan las entradas de aire atlántico en la cuenca mediterránea con situaciones anticiclónicas, y en ocasiones de pantano barométrico, sobre el Este de la península. En el verano el anticiclón alcanza su estado de máxima intensidad y posición latitudinal, extendiéndose desde el Atlántico Norte hacia Europa Occidental y afectando también al tercio Norte de la Península Ibérica. Bajo este escenario, el flujo del Oeste de latitudes medias circula por el Centro y Norte de Europa, mientras que el Mediterráneo Occidental y el Este peninsular quedan en condiciones próximas a las de pantano barométrico, o anticiclónicas con débil

gradiente de presión (Millán et al., 1997). Además sobre la meseta peninsular se desarrolla una baja térmica debida al intenso calentamiento del terreno.

Durante estas situaciones de pantano barométrico, se producen aumentos simultáneos en los niveles de PST y PM10 en zonas urbanas, industrias y rurales. Esto se debe a que estos escenarios meteorológicos generan situaciones de estancamiento atmosférico, caracterizadas por la escasa renovación de masas de aire contaminado por las emisiones de entornos urbanos e industriales. Al mismo tiempo, estos vientos no son capaces de introducir en la cuenca aire limpio desde el exterior. En estos episodios el transporte de contaminantes desde las áreas urbanas e industriales hacia zonas rurales tiene lugar mediante circulaciones atmosféricas de índole local (brisa marina) o regional (la baja térmica estival). El efecto neto es un aumento en la carga de partículas en suspensión a escala regional, que se refleja en el aumento paralelo en los niveles de PST y PM10 en las áreas urbanas, industriales y rurales (Rodríguez et al., 2002b, Querol et al., 2002a). Estos episodios son así denominados de recirculación regional, y son más intensos y tienen una mayor duración durante el verano. Durante el periodo de estudio se registró un total de 37 episodios de este tipo, de los cuales 28 se produjeron entre Mayo y Septiembre (76% de los episodios) y el 24% restante (9 episodios) entre Octubre y Abril. Los niveles de partículas alcanzados son muy variables en función del tipo de estación, y es por ello que se toma la estación rural de Monagrega como referencia para establecer los incrementos debidos a estos episodios. Así, durante los episodios ocurridos en verano se alcanza un promedio para todos los años de $29 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, mientras que en los episodios ocurridos en invierno oscilan alrededor de $18 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$. En total, se calcula que se produce una media de 7 episodios regionales al año.

En la Figura 4.3.11 se han representado dos episodios de recirculación regional de masas de aire ocurridos en el mes de Abril de 1997. En la serie temporal de niveles de PM10 y PST destacan con claridad los incrementos registrados en las estaciones rurales (Morella y Monagrega). Entre los días 19-21/04/97 se registró una entrada de aire de origen atlántico que produjo un marcado descenso de los niveles de partículas al renovar las masas de aire envejecido de la zona. Sin embargo, al mantenerse las condiciones de estancamiento atmosférico los niveles de partículas ascienden de nuevo a partir del día 22/04/97, para dar lugar a un segundo episodio regional. De nuevo, una inyección de aire atlántico produjo el día 27 una reducción en los niveles de partículas en suspensión. El mapa meteorológico del día 25/04/97 confirma el escenario meteorológico caracterizado por una situación de muy débil gradiente barométrico sobre el Mediterráneo.

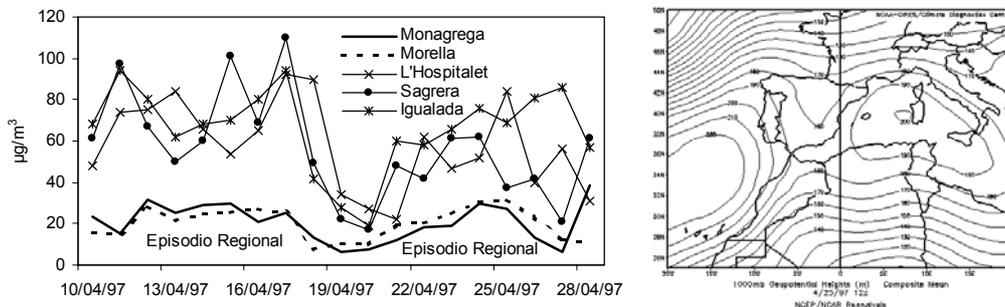


Figura 4.3.11. Ejemplo de dos episodios de recirculación regional de masas de aire ocurridos entre el 12-17/04/97 y el 22-27/04/97. Escenario meteorológico en superficie (1000 mb) para el día 25/04/97, caracterizado por la estabilidad atmosférica.

4.3.6.3. Advección de masas de aire de origen atlántico

Al contrario que los dos procesos descritos con anterioridad, la entrada de masas de aire de origen atlántico a la cuenca mediterránea no contribuye a los niveles de PST y PM10, sino que produce una reducción drástica de los niveles de partículas en suspensión. Estos episodios son frecuentes en esta zona aunque menos que en el resto de la Península Ibérica, y regulan los niveles de partículas en aire ambiente al producir la renovación de las masas de aire envejecido por masas atlánticas y en ocasiones por el lavado de los contaminantes atmosféricos.

Los procesos de advección de masas de aire de origen atlántico a la cuenca mediterránea se producen generalmente bajo dos escenarios meteorológicos distintos. Así, pueden producirse por la influencia de centros de bajas presiones ubicados al Noroeste de la Península Ibérica, o por la llegada de masas de aire a través del Golfo de Vizcaya o de Lyon por efecto del anticiclón del Atlántico Norte. En ambos casos estos episodios suelen ir asociados con el paso de frentes y en ocasiones precipitaciones por la Península Ibérica de Oeste a Este, con lo que la reducción de los niveles de contaminantes atmosféricos en el levante peninsular puede producirse por vía seca (renovación de masas de aire) o húmeda (lavado). Dada la orografía de la península, en frecuentes ocasiones los frentes que llevan lluvias asociadas descargan en la Cordillera Cantábrica, por lo que a su llegada a la costa mediterránea la reducción de niveles de partículas suele ser debida más a la renovación de masas de aire que al lavado atmosférico.

Como se ha mostrado en la interpretación de los diferentes escenarios de transporte (Tabla 4), el 54% de los días del año (en promedio) el origen de las masas de aire que alcanzan la zona de estudio es atlántico (25% del Atlántico Noroeste, 16% del Atlántico Oeste, 13% del Atlántico Sudoeste). Estos episodios se producen mayoritariamente entre Noviembre y Abril, debido a que es durante este periodo cuando se aproximan con mayor frecuencia borrascas a la costa occidental de la península. El impacto de estos episodios en los niveles de partículas puede resultar en descensos de los niveles de PST y PM10 de hasta 50-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las estaciones rurales.

En la Figura 4.3.12 se han representado las series temporales de niveles de PST y PM10 (Monagrega) para las estaciones rurales de la zona de estudio durante el periodo de Marzo a Julio de 1997. En ella se aprecia la entrada de frentes y masas de aire desde el Atlántico Oeste, Noroeste y Sudoeste, y cómo los niveles de partículas durante estos episodios disminuyen de forma marcada. Asimismo, estos periodos de advección atlántica delimitan en la mayoría de los casos episodios de origen natural y regional, como son las intrusiones africanas y los procesos de recirculación regional de contaminantes de origen urbano e industrial. Las series temporales de niveles de ozono también se han representado en la misma figura, ya que en muchas ocasiones los niveles de este contaminante constituyen un trazador de los episodios regionales al incrementar con el envejecimiento de las masas de aire (Rodríguez et al., 2002a). Por ello, los niveles de ozono acusan también los descensos relacionados con la entrada de masas de aire atlántico y la consecuente renovación de las masas de aire contaminadas por focos locales.

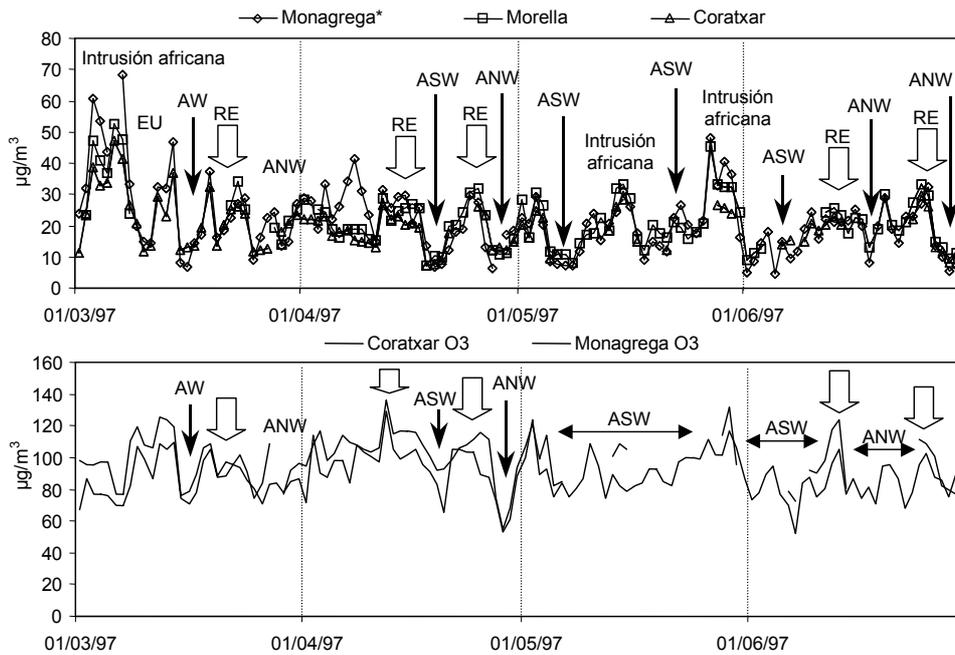


Figura 4.3.12. Series temporales de niveles de PST y PM10+ y ozono en las estaciones rurales del sector mediterráneo entre Marzo y Julio de 1997, donde se muestra el efecto sobre los niveles de PST y PM10* de los episodios de advección de masas de aire de origen atlántico.

4.3.7. Episodios de partículas

Tras haber realizado un estudio en detalle de los procesos comunes de control de los niveles de partículas y de los principales tipos de episodio de origen natural en la zona mediterránea, en este apartado se presenta una estadística obtenida para todos los episodios con niveles elevados de material particulado (de origen natural y antropogénico) registrados entre 1996 y 2000. Este análisis se resume en la Tabla 4.3.5, que muestra los resultados de la clasificación de los episodios de PST y PM10 en función del origen atribuido a los episodios de partículas. Durante el periodo 1996-2000 se detectó una media de 39 episodios con altos niveles de PST y PM10 por año, de los cuales 7 cada año se atribuyen en promedio a causas naturales tales como aportes africanos. Además, se registran 5 episodios de recirculación regional cada año con impacto en los niveles de PST y PM10. Los 27 episodios restantes se registraron en estaciones de ámbito urbano e industrial, tratándose así de episodios de contaminación antropogénica local. En promedio, los episodios con altos niveles de PST y PM10 de origen natural y antropogénico presentan una duración media de 4 días/episodio.

En 20 de los 39 episodios anuales registrados en el Mediterráneo se superó el límite de $50\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ como promedio en las estaciones urbanas e industriales, y de ellos únicamente 4 episodios anuales superaron en promedio el límite de $70\mu\text{gPST}/\text{m}^3$. De los 20 episodios que superaron $50\mu\text{gPST}/\text{m}^3$, 6 fueron debidos a causas exclusivamente antropogénicas y tuvieron un impacto local, mientras que 5 de ellos tuvieron origen antropogénico local pero al mismo tiempo se registró un impacto en las estaciones rurales, como consecuencia de los procesos de recirculación regional. Por otra parte, un promedio de 7 episodios anuales es debido a aportes naturales de origen africano, y 2 episodios a patrones de transporte europeos.

Los niveles más elevados ($>70\mu\text{gPST}/\text{m}^3$) se registraron esencialmente bajo escenarios de transporte africano (3 episodios anuales en promedio) y antropogénico

local (1 episodio anual). Los niveles medios de partículas registrados bajo episodios regionales y europeos no alcanzan en general el límite de $>70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$.

Tabla 4.3.5. Episodios de varios días de duración (media 4 días/episodio) con altos niveles de PST detectados a través de la inter-correlación de series de niveles medios diarios de PST de todas las estaciones. NAF: episodios con origen africano, según el estudio de retrotrayectorias; ANT-RE: episodios antropogénicos urbanos asociados con episodios regionales; ANT: episodios antropogénicos urbanos locales; EU: episodios de origen europeo.

	n total	$n \geq 50 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$				$n \geq 70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$			
		NAF	ANT-RE	ANT	EU	NAF	ANT-RE	ANT	EU
Ene-Mar	11	2	1	3	1	1	0	1	0
Abr-Jun	9	2	1	1	1	1	0	0	0
Jul-Sep	9	2	2	0	0	1	0	0	0
Oct-Dic	10	1	1	2	0	0	0	0	0
TOTAL	39	7	5	6	2	3	0	1	0

Como se observa en la Tabla 4.3.5, los episodios antropogénicos de contaminación urbana local (episodios ANT) causantes de episodios con niveles superiores a 50 y 70 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ se producen con mayor frecuencia durante el otoño y el invierno (2 y 3 episodios anuales), mientras que los episodios antropogénicos regionales (RE) aparecen durante el verano. Las intrusiones de masas de aire africano con mayor repercusión en los niveles de partículas en suspensión ($>70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$) se registran durante los tres primeros trimestres del año, mientras que en el verano y a finales del año los episodios de este tipo generan un menor impacto en los niveles de partículas en aire ambiente ($>50 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$).

Finalmente, es posible concluir que en el Levante peninsular predominan los episodios de origen antropogénico, al sumar 13 de los 20 episodios con niveles medios $>50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en estaciones urbanas e industriales. Sin embargo, dadas las particularidades meteorológicas y geográficas de la cuenca mediterránea, aproximadamente el 40% de estos episodios (5 sobre 13) tiene repercusión en los niveles de partículas en las estaciones rurales debido al transporte a escala regional de los contaminantes antropogénicos emitidos en entornos urbanos e industriales. Los episodios africanos también son relevantes en esta zona (7 sobre 20 episodios), en particular en niveles elevados ($>70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$).

4.3.8. Interpretación del origen de las superaciones del valor límite diario de PM10

La implantación de la directiva 1999/30/CE (traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 1073/2002) requiere el cálculo del número de superaciones anuales del valor límite diario de $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, descontando todas aquellas cuyo origen sea demostrado natural. Para lograr este objetivo, en este apartado se ha llevado a cabo la identificación de las superaciones del valor límite coincidentes con episodios de intrusión de masas de aire africano a lo largo del periodo 1996-2000 en el área mediterránea. Los resultados de esta identificación se muestran en la Tabla 4.3.6 y la Figura 4.3.12.

En las estaciones rurales el número medio de superaciones anuales del valor límite diario de PM10 de la directiva oscila entre 2 (Coratxar) y 5 (Morella), mientras que en las estaciones de ámbito urbano e industrial oscila entre 13 (Fornells) y 104 (Onda) (Tablas 4.3.3 y 4.3.6). En las estaciones rurales el 100% de las superaciones aparece asociado a intrusiones de masas de aire africano, mientras que en las estaciones de ámbito urbano e industrial entre 3 y 24 superaciones son causadas por intrusiones

africanas, y entre 9 y 80 están asociadas a causas antropogénicas (Tabla 4.3.6). Se concluye así que en las estaciones urbanas con tráfico intenso e industriales los aportes antropogénicos son la principal causa de superaciones del valor límite diario, aunque el número de superaciones naturales puede dificultar el cumplimiento de la directiva 1999/30/CE en 2005 (no en 2010) en algunas de las estaciones de fondo urbano o suburbanas. Este es el caso de la estación de Fornells, en la que se cumpliría el máximo número de superaciones no africanas en 2005 (n=35) al descontar las superaciones africanas. En el resto de estaciones urbanas e industriales no se cumplirían los límites de 2005 ni de 2010 aunque no se contabilizaran las superaciones registradas simultáneamente con episodios africanos (Tabla 4.3.6). Es necesario considerar que la categoría de superaciones no africanas incluye no sólo las causadas por aportes antropogénicos locales sino también antropogénicos externos (transporte de contaminantes particulados desde Europa) y otros aportes naturales, tales como la resuspensión en los suelos áridos del Este peninsular durante el verano.

La variación estacional de las superaciones antropogénicas y naturales del valor límite diario muestra ligeras diferencias de un tipo de estación a otro, aunque en todas ellas se observan superaciones naturales en el periodo de Febrero a Marzo (de 1-4 superaciones anuales, Figura 4.3.12). En todas las estaciones las superaciones causadas por intrusiones africanas son más frecuentes entre Enero y Marzo y en verano, aunque se detectan episodios con menor regularidad en Mayo y Octubre. Los meses en los que se registran menos superaciones naturales en todas las estaciones son Abril y Noviembre. Se observa que la incidencia de los episodios africanos es más acentuada en las estaciones con alta influencia antropogénica, y que estas se producen, principalmente, cuando los niveles de partículas son más altos a causa de los aportes locales. En este sentido el efecto de las emisiones locales en las estaciones urbanas e industriales es el de producir niveles de partículas en suspensión relativamente altos, de modo que el aporte de polvo durante las intrusiones africanas es suficiente para producir superaciones del valor límite diario. Por este motivo el número de superaciones africanas es máximo en la estación de fondo industrial de Onda.

Tabla 4.3.6. Resultados de la interpretación de los patrones de transporte de los días con superación del equivalente teórico al nivel límite diario de la directiva europea de calidad del aire durante el periodo 1996-2000. Se ha diferenciado entre patrones africanos (Afr.) y no africanos (No-Afr.).

	Monagrega		Morella		Fornells		Sagrera		L'Hospitalet		Onda	
	No-Afr.	Afr.	No-Afr.	Afr.	No-Afr.	Afr.	No-Afr.	Afr.	No-Afr.	Afr.	No-Afr.	Afr.
Ene	0	1	0	1	0	1	3	2	2	1	2	2
Feb	0	0	0	0	2	1	5	1	5	2	5	2
Mar	0	1	0	1	3	1	7	2	5	2	10	4
Abr	0	0	0	0	2	0	6	0	4	0	5	0
May	0	0	0	0	0	0	3	1	2	1	7	2
Jun	0	0	0	0	0	0	2	2	3	2	10	2
Jul	0	0	0	0	0	0	2	1	7	2	11	2
Ago	0	2	0	2	0	0	0	1	2	1	8	6
Sep	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1	10	2
Oct	0	0	0	0	1	0	5	2	8	3	8	1
Nov	0	0	0	0	0	0	4	0	5	0	3	0
Dic	0	0	0	0	1	0	5	0	4	0	3	0
Total	0	4	0	5	9	3	44	13	49	16	80	24

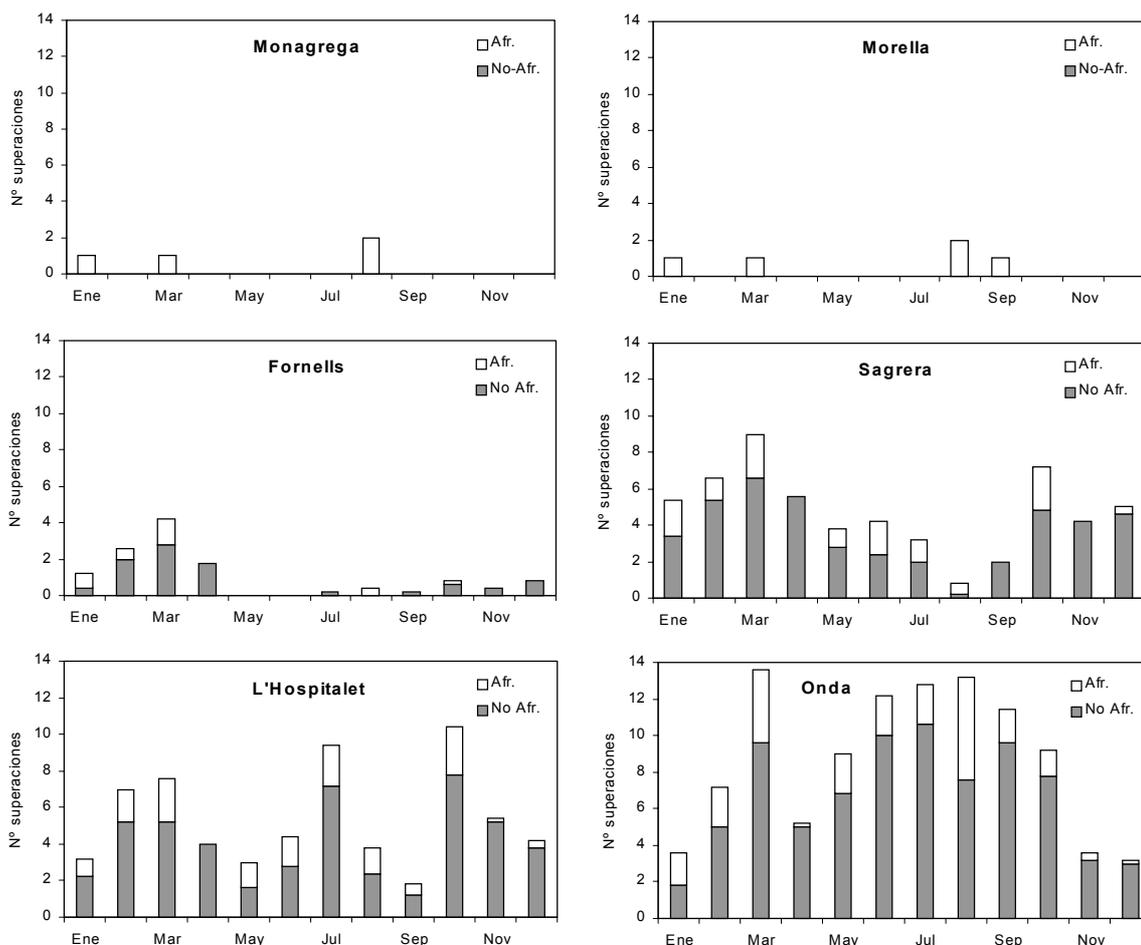


Figura 4.3.12. Distribución estacional de las superaciones del valor límite diario de $50\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ de la directiva 1999/30/CE (equivalente a $70\mu\text{gTSP}/\text{m}^3$ en ambientes urbanos e industriales y a $50\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en ambientes rurales) durante el periodo 1996-2000, con la interpretación de los patrones de transporte. Se ha diferenciado entre patrones africanos (Afr.) y no africanos (No-Afr.).

Por otra parte, el número de superaciones del valor límite diario atribuidas a aportes antropogénicos presenta una estacionalidad caracterizada por máximos entre Febrero y Abril y entre Octubre y Diciembre, que es común para todas las estaciones salvo para las industriales de fondo como Onda. En algunas estaciones urbanas es posible encontrar un máximo de verano, como es el caso de L'Hospitalet. Las estaciones urbanas se encuentran dentro del casco urbano de la ciudad, por lo que las máximas superaciones durante el otoño e invierno se deben principalmente a la escasa capacidad de dispersión de contaminantes de la atmósfera durante estos periodos. La estación de fondo industrial de Onda, por el contrario, se encuentra en un lugar abierto y no excesivamente próxima a los puntos de emisión de la industria cerámica, y por ello las máximas superaciones de verano en esta estación se deben a que la circulación estival de brisas en el valle produce un efecto de recirculación en el valle y de envejecimiento de las masas de aire.

Tras el estudio de los resultados obtenidos en el análisis de los aportes naturales y antropogénicos registrados en el Este peninsular durante el periodo 1996-2000, se observa que en el caso de la aplicación de la directiva 1999/30/CE, el cómputo total medio de superaciones anuales del límite diario de $50\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ al descontar las superaciones africanas es ligeramente inferior al permitido para el año 2010 ($n=7$) en las estaciones rurales, y ligeramente superior al permitido en las estaciones de fondo

urbano y suburbanas y muy superior al permitido en las estaciones urbanas de tráfico e industriales. En caso de aplicar el límite de 2005 (n=35), las únicas estaciones que cumplirían el límite serían las rurales y urbanas de fondo o suburbanas, ya que las estaciones urbanas con tráfico e industriales superarían el máximo número de superaciones permitido.