

4. SERIES TEMPORALES DE NIVELES DE PST Y PM10 (1996-2000)

4.1. País Vasco

4.1.1. Selección de series temporales y criterios de interpretación

Conjuntamente con los responsables del Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco se seleccionaron 12 estaciones de control de calidad del aire para el estudio de las series temporales de material particulado en suspensión (Tabla 4.1.1 y Figura 4.1.1). Dichas estaciones están equipadas con instrumentación automática de medida de PST de tipo atenuación Beta, aunque en un número determinado de ellas se instalaron equipos basados en la medida con microbalanza oscilante (TEOM). Las estaciones seleccionadas para este estudio están todas equipadas con equipos de atenuación de radiación Beta FAG y ENVIRONMENT. Hasta el año 2000 no se comenzó a instalar cabezales PM10 en determinadas estaciones de la red, por lo que el presente estudio se ha realizado en base a las series de niveles de PST, con la única excepción de la estación de fondo regional de Valderejo, que cuenta con series de PM10 en 1999-2000. En cuanto a la disponibilidad de datos, ésta es muy baja para 1995 y 1996, por lo que en muchas de las estaciones solamente se han utilizado series de PST de 1997 a 2000.

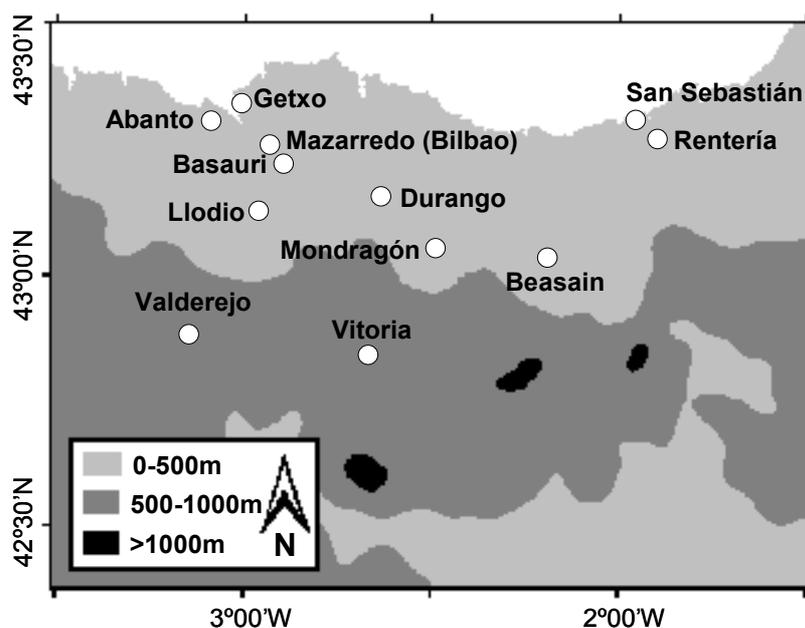


Figura 4.1.1. Localización de las estaciones de control de calidad del aire seleccionadas para el estudio de series temporales de niveles de PST en el País Vasco.

4. Series temporales de PST y PM10 (1996-2000): País Vasco

Tabla 4.1.1. Relación y características de las estaciones seleccionadas para el estudio de series de PST en el País Vasco. * La estación de Valderejo registra niveles de PM10.

Nº	Nombre	Coordenadas	Altitud (m)	Medida PST
1	Abanto	43°19'10"N 03° 05'06"W Residencial con influencia de un polígono petroquímico, influencia menor de tráfico	75	Atenuación Beta
2	Getxo	43° 21'22"N 03° 00'52"W Residencial con influencia de tráfico	30	Atenuación Beta
3	Mazarredo	43° 16'07"N 02° 6'03"W Residencial con influencia de tráfico muy elevada	10	Atenuación Beta
4	Basauri	43° 14'10"N 02° 53'43"W Industrial-residencial, influencia de una acera lejana y tráfico local.	125	Atenuación Beta
5	Llodio	02° 57'44"W 43° 08'42"N Residencial en zona urbana con influencia de tráfico alejada	122	Atenuación Beta
6	Durango	43° 10'21"N 02° 38'10"W Industrial-residencial	113	Atenuación Beta
7	Vitoria	42° 51'19"N 02° 40'10"W Residencial con influencia de tráfico, posible influencia de una acera lejana	518	Atenuación Beta
8	Mondragón	43° 03'54"N 02° 29'21"W Antigua zona industrial actualmente residencial	214	Atenuación Beta
9	Beasain	43° 02'58"N 02° 11'25"W Industrial-residencial, con alta influencia de una acera e industria del ferrocarril	153	Atenuación Beta
10	S. Sebastián	43° 19'24"N 01° 57'34"W Residencial con influencia de tráfico	4	Atenuación Beta
11	Rentería	43° 16'56"N 01° 53'54"W Residencial-industrial. Urbana con tráfico en una zona industrial, sin impactos directos	5	Atenuación Beta
12	Valderejo*	42° 52'31"N 03° 13'53"W Fondo regional, ubicada en un parque natural	911	Atenuación Beta

4.1.2. Niveles de partículas

Los niveles medios anuales de partículas en suspensión registrados en las distintas estaciones del País Vasco permiten realizar una clasificación de los emplazamientos de control de calidad del aire en cuatro categorías: estaciones de fondo regional, fondo urbano, urbanas e industriales (con mayor o menor grado de influencia de tráfico). Los niveles de material particulado incrementan progresivamente desde las estaciones de fondo regional a las urbanas e industriales, como consecuencia de la influencia directa de diversos focos de emisión en el entorno de estas últimas.

Las estaciones seleccionadas para el presente estudio se encuentran, en su mayoría, bajo influencia de emisiones características de tráfico e industriales, siendo las estaciones de Llodio y Valderejo las únicas representantes de los niveles de fondo urbano y regional respectivamente (Tabla 4.1.2). La estación de Abanto registra

también en promedio niveles de fondo urbano, aunque debido al impacto esporádico de las emisiones de un complejo petroquímico cercano (Petronor), no es posible su clasificación como estación de fondo urbano estricto. Los datos registrados en este punto deberán por lo tanto ser siempre contrastados con los niveles de gases trazadores de las emisiones del citado complejo si pretenden ser tomados como referencia de los niveles de fondo urbano. Como resultado, once de las doce estaciones no cuentan con una ubicación representativa de las condiciones de fondo urbano, al estar situadas demasiado próximas a los focos de emisión de tráfico o industriales, o como en el caso de Valderejo en un parque natural.

Tabla 4.1.2. Niveles medios anuales de PST (*PM10 en Valderejo) en el País Vasco, se adjuntan también los niveles medios de NO_x y SO₂ como indicadores de la importancia de las emisiones locales ó regionales. SD, disponibilidad de datos <60%

Nº	Nombre	MEDIA ANUAL (µg/m ³)			Nº	Nombre	MEDIA ANUAL (µg/m ³)		
		PST	NO _x	SO ₂			PST	NO _x	SO ₂
1	Abanto	36	71	16	2	Getxo	46	61	SD
	1995	46	72	16		1995	SD	58	SD
	1996	34	85	15		1996	SD	65	SD
	1997	38	93	16		1997	SD	SD	SD
	1998	38	51	15		1998	45	59	SD
	1999	31	52	17		1999	49	60	SD
2000	37	67	18	2000	42	58	11		
3	Mazarredo	50	123	20	4	Basauri	64	90	15
	1995	52	129	27		1995	59	92	22
	1996	52	126	20		1996	59	99	14
	1997	48	121	16		1997	71	109	16
	1998	46	120	20		1998	64	85	10
	1999	47	118	18		1999	SD	67	12
2000	58	95	14	2000	SD	66	18		
5	Llodio	35	57	10	6	Durango	47	82	9
	1995	SD	SD	SD		1995	SD	SD	SD
	1996	36	50	9		1996	SD	SD	SD
	1997	37	54	11		1997	66	83	8
	1998	35	62	9		1998	46	84	10
	1999	32	62	9		1999	38	80	9
2000	38	62	9	2000	34	64	7		
7	Vitoria	42	80	7	8	Modragón	48	59	6
	1995	SD	SD	SD		1995	SD	SD	SD
	1996	SD	SD	SD		1996	40	54	3
	1997	SD	SD	SD		1997	45	63	4
	1998	45	92	7		1998	58	63	10
	1999	40	83	6		1999	45	57	6
2000	41	80	6	2000	53	68	7		
9	Beasain	52	88	10	10	S.Sebastián	40	114	8
	1995	SD	SD	SD		1995	SD	SD	SD
	1996	SD	SD	SD		1996	41	132	10
	1997	SD	SD	SD		1997	43	110	9
	1998	50	97	10		1998	43	110	7
	1999	55	78	10		1999	37	105	6
2000	52	74	6	2000	35	99	5		
11	Rentería	45	101	9	12	Valderejo	16*	8	5
	1995	SD	SD	SD		1995	SD	SD	SD
	1996	38	83	SD		1996	SD	SD	SD
	1997	50	113	9		1997	SD	SD	SD
	1998	58	106	10		1998	SD	SD	SD
	1999	43	101	9		1999	15*	8	6
2000	36	86	7	2000	17*	8	4		

4. Series temporales de PST y PM10 (1996-2000): País Vasco

Tabla 4.1.3. Niveles medios mensuales y anuales de PST (*PM10 en Valderejo) para el periodo 1996-2000, así como número de días con PST > 60 µg/m³ (*PM10>50 µg/m³ en Valderejo). *: Únicamente dos años completos de datos.

Promedio	Llodio	Getxo*	Vitoria*	Abanto	Basauri*	Beasain*	S.Sebastián	Durango	Mazarredo	Mondragón	Rentería	Valderejo**
ENE	31	52	41	35	57	65	45	47	50	51	48	13
FEB	38	57	49	41	64	67	50	56	54	58	52	11
MAR	47	55	55	50	73	65	51	60	62	66	56	17
ABR	32	39	25	33	61	37	36	40	42	41	41	9
MAY	38	47	43	38	63	55	40	44	49	46	46	16
JUN	40	47	49	37	64	52	38	43	50	43	42	21
JUL	36	38	48	29	60	46	33	42	46	37	44	20
AGO	32	35	30	32	59	30	32	35	42	32	39	24
SEPT	43	54	49	40	71	49	41	55	60	57	47	25
OCT	35	42	41	36	69	50	41	59	59	57	46	14
NOV	27	44	32	28	63	54	34	46	44	42	36	9
DIC	28	46	36	29	61	57	36	43	45	42	40	9
Anual	35	46	42	36	64	52	40	47	50	48	45	16

PST>60µg/m ³	Llodio	Getxo*	Vitoria*	Abanto	Basauri*	Beasain*	S.Sebastián	Durango	Mazarredo	Mondragón	Rentería	Valderejo**
ENE	1	5	6	5	8	12	5	8	9	10	9	0
FEB	3	7	7	6	10	14	6	10	9	10	9	0
MAR	8	9	13	10	11	16	9	11	14	15	11	1
ABR	3	1	2	4	7	3	2	6	6	5	5	0
MAY	4	4	6	5	8	10	3	6	8	5	6	1
JUN	4	4	8	4	8	11	2	7	8	3	5	0
JUL	2	2	6	1	8	6	1	4	6	3	6	0
AGO	1	1	1	3	5	1	0	1	4	3	3	1
SEPT	4	8	8	6	12	10	3	10	13	12	8	3
OCT	2	3	6	5	10	7	4	10	11	10	8	0
NOV	0	3	3	3	9	11	2	8	7	6	4	0
DIC	1	6	5	4	7	10	4	7	6	6	5	0
Suma total	34	53	70	54	104	110	40	88	102	89	79	5

Los valores medios anuales de PST para el periodo 1996-2000 (PM10 en el caso de Valderejo) obtenidos en cada una de las estaciones muestran una gradación en función del tipo de emisiones registradas en los diferentes entornos (Figura 4.1.2 y Tabla 4.1.3). Las estaciones de Llodio y Abanto registran niveles reducidos de PST (35 a 36 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$, equivalentes a 25 a 30 $\mu\text{gPM10}/\text{m}^3$) como media para el periodo de estudio, y la estación de fondo regional de Valderejo, que únicamente dispone de datos de PM10 para 1999 y 2000, presenta los menores niveles de partículas (16 $\mu\text{gPM10}/\text{m}^3$), NO_x (8 $\mu\text{gNO}_x/\text{m}^3$) y SO_2 (5 $\mu\text{gSO}_2/\text{m}^3$) de todas las estaciones seleccionadas. Consecuentemente, estas tres estaciones serían la más indicadas para el estudio de posibles aportes de material particulado de origen externo.

Por otra parte, las estaciones de Getxo (46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Vitoria (42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y S. Sebastián (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) son ejemplos de estaciones urbanas de tráfico cuyos niveles de PST se encuentran en un punto intermedio entre los de las estaciones de fondo urbano y las industriales. La influencia directa del tráfico, muy intenso y próximo a los puntos de medida, es decisiva en estos casos. Por último, las estaciones de Basauri (64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Beasain (52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Mazarredo (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) son según los datos los puntos de mayor contaminación, y ello es debido principalmente a la actividad industrial circundante con influencia también importante del tráfico.

A modo de resumen, es posible establecer las siguientes categorías a partir de las estaciones de muestreo seleccionadas:

ESTACIONES DE FONDO REGIONAL: Valderejo. Presenta la media anual de niveles de partículas en suspensión más reducida: 16 $\mu\text{gPM10}/\text{m}^3$. Se caracteriza por la ausencia de influencia directa de emisiones de tipo antropogénico

ESTACIONES DE FONDO URBANO: Llodio y Abanto, aunque esta última se encuentra bajo la influencia esporádica de las emisiones de un complejo petroquímico. Presentan niveles medios anuales de partículas relativamente bajos (35 a 36 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$), como consecuencia de la ausencia en el entorno más directo de importantes focos de emisión tanto de tráfico como industriales.

ESTACIONES URBANAS: Getxo, Vitoria, S. Sebastián, Durango, Mondragón y Rentería. Se trata con frecuencia de zonas residenciales próximas al tráfico, con valores medios anuales de 40-48 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$. Suelen registrar concentraciones medias de NO_x elevadas (59-114 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), al ser la actividad del tráfico el principal foco de emisión de contaminantes.

ESTACIONES INDUSTRIALES: Mazarredo, Basauri y Beasain. Registran los máximos niveles de PST, que oscilan entre 50-52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pudiendo llegar a alcanzar valores extremos de 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En estas zonas bajo influencia de emisiones industriales el abanico de contaminantes atmosféricos puede ser muy amplio, al depender de los distintos tipos de actividad industrial. A la citada actividad industrial se añaden con frecuencia las emisiones producidas por el tráfico. Así, este tipo de estaciones presenta niveles de SO_2 elevados (10-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que los niveles de NO_x pueden ser inferiores (Beasain, 88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) o superiores (Mazarredo, 123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a los registrados en las estaciones urbanas.

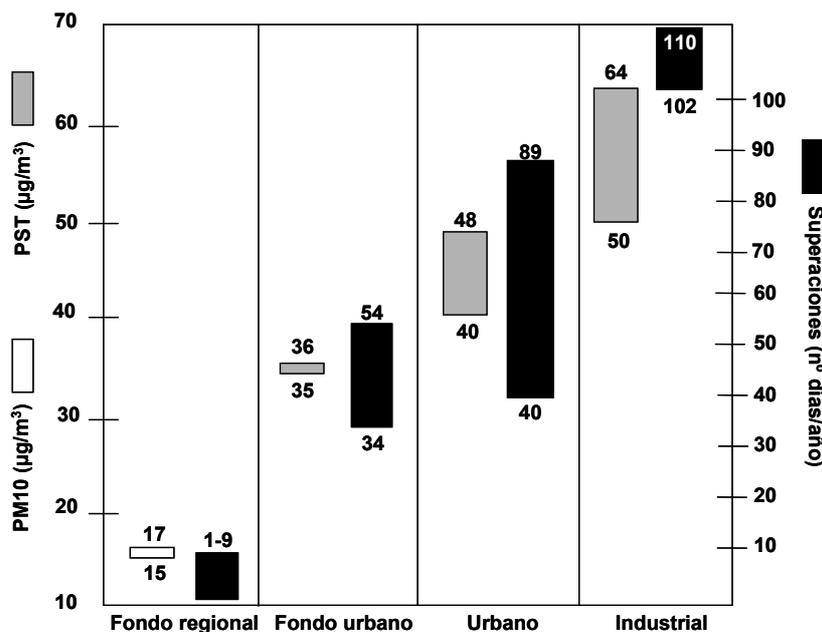


Figura 4.1.2. Rango de niveles medios anuales y del número medio anual de superaciones del valor límite diario equivalente a $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ según el tipo de estación.

La relación entre las superaciones del equivalente al valor límite diario de PM10 ($60 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, equivalente a $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) en los distintos tipos de estación se aprecia también en la Figura 4.1.2, que muestra los rangos medios obtenidos para el valor n durante el periodo 1996-2000. El valor de $60 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ equivalente al valor límite diario de PM10 se calcula aplicando el ratio $\text{PST}/\text{PM}_{10}=1.2$ propuesto por la directiva 1999/30/CE. El número medio de superaciones anuales "n" en las estaciones de fondo urbano fluctúa entre 34 y 54, y en las estaciones urbanas de tráfico $n=40-89$, destacando S.Sebastián por su valor inferior al obtenido en Abanto (fondo urbano). Como ya ha sido comentado, la estación de Abanto registra un número anormalmente elevado de superaciones como consecuencia de la influencia esporádica de un polígono industrial próximo. El rango abarcado por el parámetro n en las estaciones industriales alcanza valores máximos, con un mínimo de 102 y un máximo de 110. Por último, la estación de fondo regional de Valderejo registra entre 1-9 superaciones del valor límite de PM10.

Una vez determinadas las medias anuales obtenidas para el periodo 1996-2000 en el País Vasco para las 12 estaciones de muestreo seleccionadas, es posible realizar una comparación con los valores límite anual y diario establecidos por la directiva europea 1999/30/CE, en vigor desde Julio de 2001 (Figura 4.1.3). Según esta Norma, para el año 2005 se establece un valor límite anual de $40 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ (equivalente aproximadamente a $47 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$), que será reducido de forma progresiva hasta $20 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ ($24 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$) en el año 2010. Consecuentemente, y considerando los valores obtenidos en el presente estudio, la estación de fondo rural de Valderejo sería la única que se encontraría dentro de los límites permitidos para 2010. La magnitud de la superación del límite establecido por la directiva depende directamente del tipo de estación (Figura 4.1.3). Así, las estaciones de fondo urbano (Llodio y Abanto) poseen una media de 35 y $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PST en el periodo 1996-2000, con lo que se encontrarían entre 11-12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por encima del valor límite para 2010. Las estaciones urbanas de tráfico como Vitoria, Getxo o S.Sebastián oscilan en un rango de 40-48 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$, entre 16 y 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sobre el límite establecido para 2010. Por último, las estaciones de tipo industrial duplican con frecuencia el límite de $24 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ al abarcar un rango de 50-64 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$. Al aplicar el límite de 2005, por otra parte, la situación varía de

forma ostensiblemente, ya que las únicas estaciones que incumplirían el límite de $47 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ serían las urbanas con tráfico intenso y las industriales (Mondragón, Basauri, Mazarredo y Beasain, PST entre $48\text{-}64 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$).

Asimismo, los resultados obtenidos son comparados con el límite diario de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 (aproximadamente equivalente a $60 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$) determinado por la directiva europea, superable 35 días en 2005 y 7 en 2010. En las estaciones seleccionadas el número de superaciones del valor límite diario (n) oscila entre 34 y 110 como media para los 5 años, excluyendo la estación de fondo regional de Valderejo al contar únicamente con dos años de datos, en los que el número de superaciones fue de 1 y 9 en 1999 y 2000 respectivamente (Tabla 4.1.3 y Figura 4.1.3). Así, el número de superaciones establecido para el año 2010 (n=7) sería incumplido por la totalidad de las estaciones, incluida Valderejo considerando el valor obtenido en el año 2000 (n=9). Destaca de esta manera el carácter extremadamente restrictivo de esta medida, que sería incumplida incluso por una estación de fondo regional. Por otra parte, en el caso de aplicar el límite fijado para 2005, las estaciones de fondo urbano y regional serían las únicas que lo cumplirían, con la excepción de Abanto debido a la influencia del complejo petroquímico descrita con anterioridad. Todas las estaciones urbanas e industriales incumplirían este límite en 2005. Se comprueba así que la aplicación de los dos parámetros determinados por la directiva 1999/30/CE proporciona prácticamente los mismos resultados: únicamente las estaciones de fondo regional cumplirían los requisitos establecidos para el año 2010, mientras que las estaciones de fondo urbano lo harían para 2005. Las estaciones urbanas cumplirían también con la normativa en el año 2005 en cuanto al valor límite anual, aunque no así en cuanto al número de superaciones del valor límite diario. Las estaciones industriales incumplirían ambos límites para ambas fases de aplicación de la directiva.

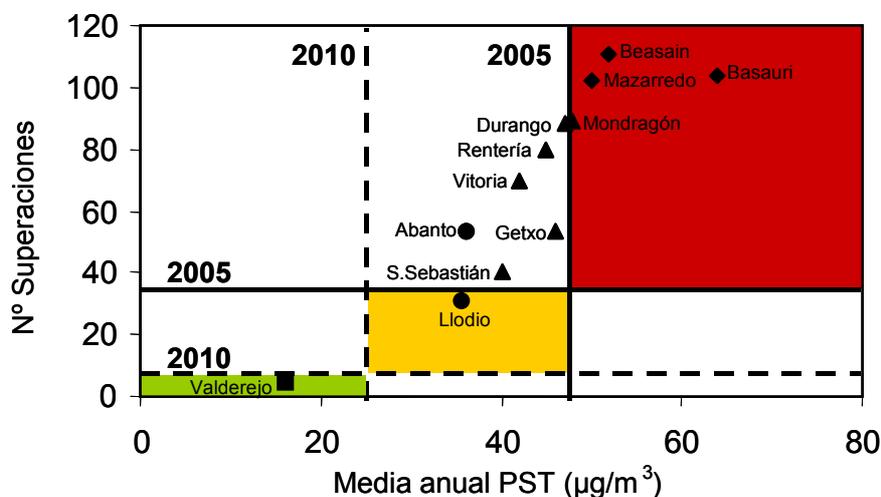


Figura 4.1.3. Evaluación del grado de cumplimiento de los requisitos impuestos por la directiva 1999/30/CE (promedio anual= $40 \mu\text{gPM10}/\text{m}^3$ en 2005, equivalente a $47 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ y $20 \mu\text{gPM10}/\text{m}^3$ en 2010, equivalente a $24 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, y número de superaciones de $50 \mu\text{gPM10}/\text{m}^3$, equivalente a $60 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$), en función de los distintos tipos de estación: ■: estaciones de fondo regional; ●: estaciones de fondo urbano y urbanas con tráfico moderado; ▲: estaciones urbanas, con tráfico intenso y/o influencia industrial; ◆: estaciones industriales.

4.1.3. Variación interanual

Los niveles medios anuales de PST reflejados en la Tabla 4.1.2 manifiestan una ligera tendencia a disminuir desde 1996 al año 2000 (estaciones de Mazarredo, Llodio, Vitoria, Rentería, Durango, S. Sebastián), paralela en numerosas ocasiones a la

observada en los niveles de NO_x (estaciones de Mazarredo, Vitoria, Rentería, Durango, S. Sebastián). En determinadas estaciones se registra un incremento puntual de los niveles de PST en el año 2000 (Abanto, Mazarredo, Llodio, Mondragón). Se observa también una cierta variabilidad interanual en los niveles de PST, que presentan una desviación típica de 3 µg/m³ del valor medio obtenido para 1995-2000 en la mayoría de estaciones. Los distintos niveles anuales se alejan en mayor medida del promedio 1995-2000 en las estaciones de Basauri, Mazarredo, Mondragón y Rentería (desviación típica = 5-9 µg/m³), siendo esta diferencia máxima en Durango (66 µg/m³ en 1997 frente a 34 µg/m³ en 2000). Se observa de esta manera que la mayor variabilidad interanual de los niveles de PST se registra en las estaciones con mayor influencia antropogénica, con la única excepción de Beasain.

En general, no se detecta proporcionalidad entre los niveles de SO₂, NO_x y PST en las diferentes estaciones, debido a la diversidad de fuentes de emisión. Así, mientras las máximas concentraciones medias anuales de PST para el periodo 1995-2000 se registran en Basauri, los niveles de SO₂ y NO_x alcanzan valores máximos en Mazarredo.

La Figura 4.1.4 muestra la evolución interanual de los niveles medios mensuales de PST (PM10 en el caso de Valderejo) y del número de superaciones mensuales del valor límite diario establecido por la directiva 1999/30/CE, para el periodo 1996-2000. A primera vista, los promedios mensuales parecen describir dos tendencias claramente diferenciadas: la primera definida por el conjunto de estaciones urbanas e industriales, y la segunda por la estación de Valderejo. La primera de estas tendencias se observa de forma repetida en 1996, 1997, 1998 y 2000, y presenta niveles máximos en los meses de Marzo y Septiembre-Octubre y fuertes descensos en el mes de Abril. El año 1999 fue atípico a este respecto. Dado que únicamente existen datos de la estación de Valderejo desde el año 1999, el patrón descrito por esta estación sólo se observa al final del periodo de estudio. Este difiere del definido por las estaciones urbanas e industriales en que los promedios mensuales de niveles de partículas tienden a maximizar en verano, con un ligero incremento en el mes de Marzo de origen natural (incursión de masas de aire africano). El elevado promedio registrado en el mes de Septiembre de 2000 es también debido a causas naturales ligadas a aportes de material particulado africano.

El número de superaciones del valor límite diario presenta una mayor variabilidad intra- e interanual, aunque se percibe de forma generalizada la misma tendencia descrita para los promedios mensuales de PST, con máximos en Marzo y Septiembre-Octubre.

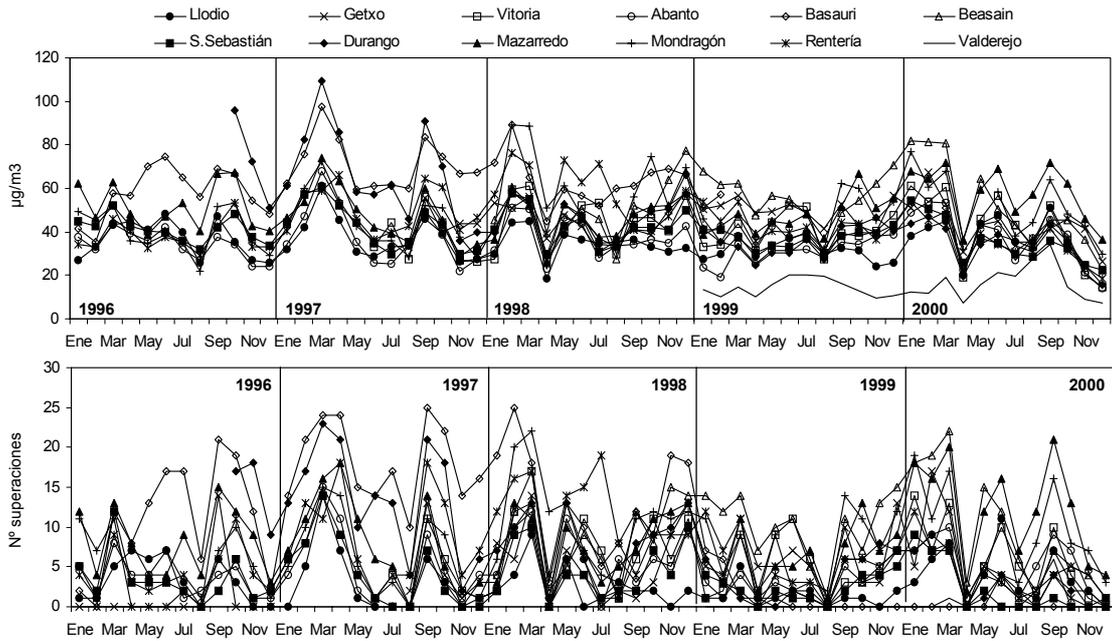


Figura 4.1.4. Variación interanual (1996-2000) de los promedios mensuales de PST (PM10 en el caso de Valderejo) y del número de superaciones (n) del valor límite diario establecido por la directiva 1999/30/CE.

4.1.4. Variación estacional

La evolución estacional de las concentraciones medias mensuales de PST para el periodo 1996-2000 en las estaciones seleccionadas se ha representado en la Figura 4.1.5, junto a la evolución estacional del parámetro n. Dada la similitud entre los patrones observados para las distintas estaciones dentro de una misma categoría (fondo regional y urbano, urbana o industrial), y con objeto de obtener una mayor claridad en la representación, se han seleccionado siete estaciones para realizar un estudio en detalle. Los valores individuales se encuentran especificados en la Tabla 4.1.3.

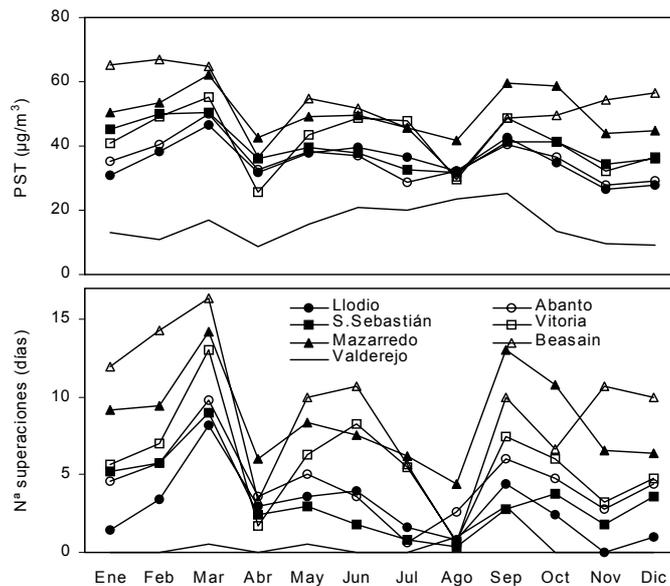


Figura 4.1.5. Evolución estacional de las medias mensuales de PST y el número de superaciones del valor límite diario para el periodo 1996-2000.

Consecuentemente con lo observado en la Figura 4.1.4, la Figura 4.1.5 permite apreciar dos tendencias generales en cuanto al promedio mensual de niveles de partículas: la primera común para las estaciones urbanas e industriales, y la segunda característica de la estación de fondo regional. El patrón definido por la estación de fondo regional de Valderejo se caracteriza por presentar un máximo prolongado durante los meses de verano, y un incremento puntual en el mes de Marzo. El incremento estival tiene su origen en la evolución de la dinámica atmosférica a lo largo del año, que destaca por su mayor capacidad dispersiva en los meses de verano. Durante el invierno, el menor espesor de la capa de mezcla y la frecuente presencia de inversiones térmicas en superficie favorece la acumulación de contaminantes en torno a sus áreas de emisión, constituidas habitualmente por núcleos urbanos e industriales. Las zonas de fondo regional, alejadas de estos puntos, registran así niveles mínimos de contaminantes de origen antropogénico, entre ellos el material particulado. Como consecuencia de la mayor radiación solar incidente en los meses de primavera-verano y del calentamiento de la superficie, la atmósfera adquiere mayores propiedades dispersivas al incrementar la potencia de la capa de mezcla. Los contaminantes emitidos en zonas urbanas e industriales pueden ser así transportados a mayores distancias, alcanzando de esta manera entornos considerados como de fondo regional. El resultado de este proceso es el incremento de los niveles de material particulado (entre otros contaminantes) en estaciones de fondo regional.

El origen del máximo relativo del mes de Marzo característico del patrón definido por la estación de fondo regional es estrictamente natural, ya que se encuentra ligado a la incursión de masas de aire africano con elevada carga particulada. Estos aportes se producen en el País Vasco de forma preferente en el mes de Marzo, de tal manera que su impacto aparece reflejado en el promedio mensual de un periodo de 5 años.

Por otra parte, se observa también en la Figura 4.1.5 la tendencia descrita por las estaciones urbanas (de fondo y bajo influencia del tráfico) e industriales. Esta se define por tres periodos claramente diferenciados, cuyos extremos se encuentran delimitados por marcados descensos en los niveles de material particulado. Estos mínimos se producen de forma más pronunciada en los meses de Abril y Agosto, y se registra un tercer mínimo en Noviembre-Diciembre de ligeramente menor magnitud que los anteriores. Los meses de Abril, Noviembre y Diciembre se caracterizan en el País Vasco por una elevada pluviometría (Figura 4.1.6), que produce un lavado atmosférico cuya consecuencia es el descenso generalizado de los niveles de contaminantes atmosféricos como el material particulado. Por otra parte, el volumen de precipitación registrado en Agosto es inferior al de los meses mencionados anteriormente, pero sin embargo se trata del más elevado dentro del periodo Junio-Septiembre, lo cual resulta en niveles mínimos relativos de partículas debido al mismo proceso de lavado atmosférico. Este patrón determinado por la influencia de la precipitación se repite al observar la evolución estacional del número de superaciones del valor límite diario establecido por la directiva 1999/30/CE.

Los citados descensos delimitan así tres periodos con elevados niveles de material particulado en las estaciones urbanas e industriales, entre los cuales destaca el primero (Febrero y Marzo) debido a las máximas concentraciones anuales alcanzadas ($73 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en Basauri, $47 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en Llodio como media en el mes de Marzo). Los aportes de material particulado por medio de la incursión de masas de aire de origen norteafricano se encuentran en el origen de estos elevados niveles de partículas, que se producen de forma esporádica y puntual a lo largo del año con una mayor probabilidad de ocurrencia en estos dos meses. El impacto de este tipo de aportes es máximo en Febrero y Marzo debido a la mayor intensidad de los episodios, que alcanzan la zona de estudio de forma directa a través del océano Atlántico y bordeando la costa occidental de la Península Ibérica.

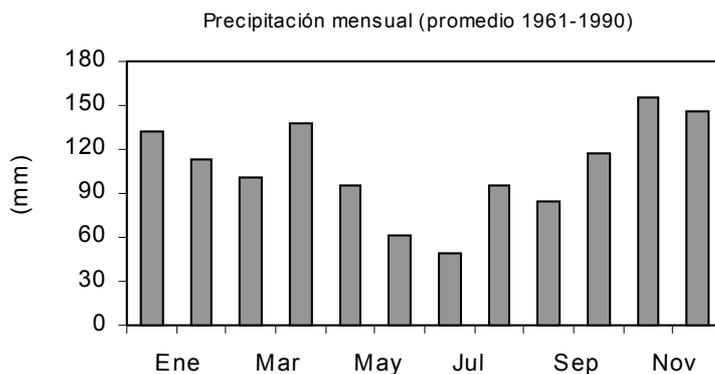


Figura 4.1.6. Promedio de la precipitación mensual acumulada entre los años 1961-1990 en el observatorio del aeropuerto de Bilbao. Datos suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología.

Tras el descenso ya descrito para el mes de Abril, entre los meses de Mayo y Julio se detecta un nuevo incremento en los niveles de material particulado en estaciones urbanas e industriales, el menos pronunciado de los tres. Este incremento es probablemente debido a la combinación de dos factores: la mayor tasa de resuspensión característica de los meses estivales y la diferencia relativa con los niveles más reducidos de PST originados por la precipitación. Así, se trata de un máximo relativo en relación con los meses de Abril y Agosto, ya que el promedio entre los valores medios anuales de todas las estaciones seleccionadas resulta en un valor de $44 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, muy similar a la media de este periodo ($43 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$).

Por último, y tras un nuevo descenso de la precipitación, los niveles de material particulado presentan de nuevo una tendencia a incrementar entre Septiembre y Octubre, disminuyendo finalmente en Noviembre y Diciembre con las lluvias de invierno. En Septiembre y Octubre el lavado atmosférico producido es menor y tiene como consecuencia la mayor acumulación de material particulado atmosférico entre otros contaminantes, favorecida también por la menor renovación de las masas de aire y el menor espesor de la capa de mezcla ligado al descenso de temperaturas y la reducción de los flujos convectivos en la atmósfera.

A modo de resumen, el estudio de las concentraciones medias mensuales de PST en las estaciones seleccionadas ha permitido observar la importancia de la dinámica atmosférica y de la precipitación en los niveles de contaminantes atmosféricos como el material particulado en el País Vasco. Mientras que la primera determina los niveles de material particulado en estaciones de fondo regional, la capacidad reguladora de la precipitación determina en gran medida la evolución anual de los niveles de PST en estaciones urbanas e industriales. De este modo, es posible extraer las siguientes conclusiones:

- Los niveles de material particulado en estaciones de fondo regional presentan un máximo característico estival.
- Los meses de Julio y Agosto suelen registrar niveles menores de PST en estaciones urbanas e industriales, como consecuencia del mayor volumen de precipitación relativo, así como de las menores emisiones y condiciones atmosféricas que favorecen la dispersión de contaminantes.
- Los niveles de PST registrados en Abril y Noviembre son también relativamente bajos, lo cual se debe principalmente al lavado atmosférico por parte de la precipitación ya que las emisiones en estos periodos son importantes, tal como se deduce de los niveles medios de los otros contaminantes gaseosos.

- Los periodos de Febrero a Marzo y Septiembre a Octubre presentan los niveles más elevados de PST de forma generalizada en estaciones urbanas e industriales. Las mayores emisiones y la menor dispersión atmosférica en estos periodos son la causa principal de estos registros en Septiembre y Octubre, mientras que en Febrero y Marzo se suma a éstas la contribución de aportes de material particulado de origen africano (también detectada en estaciones de fondo regional).

La Figura 4.1.7 muestra la variación de los promedios mensuales de PST y NO_x en cuatro estaciones seleccionadas representando los cuatro tipos de ambiente definidos (fondo regional, fondo urbano, urbano e industrial). Mientras que los niveles de PST evolucionan según los patrones descritos anteriormente, los niveles de NO_x muestran una clara tendencia a incrementar en el periodo comprendido entre Noviembre y Febrero en todos los entornos (incluido Valderejo donde se aprecia un ligero incremento hacia finales de año). Los valores mínimos se registran en verano en todas las estaciones. Tal como muestra la figura, es posible distinguir dos tendencias estacionales diferentes según los siguientes tipos de ambientes:

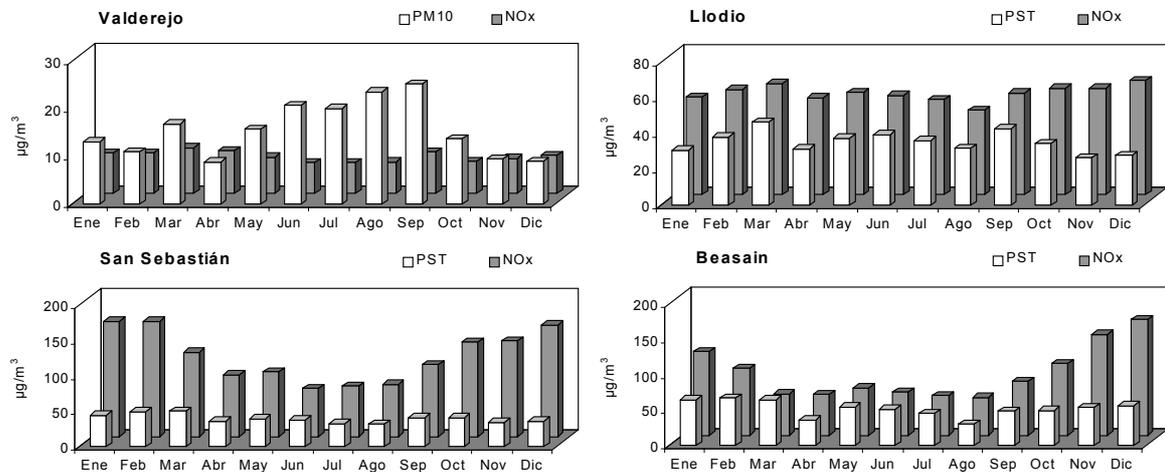


Figura 4.1.7. Promedio de los niveles mensuales de PST (PM10 en Valderejo) y NO_x en cuatro estaciones representativas de los cuatro ambientes definidos en la zona de estudio (de fondo regional, fondo urbano, urbano e industrial) durante el periodo 1996-2000 (1999-2000 en Valderejo).

- Fondo regional y urbano (Valderejo y Llodio). La variación interanual de los niveles de NO_x no es especialmente pronunciada, aunque se detecta el citado incremento correspondiente a los meses de Noviembre-Diciembre. Los niveles de ambos parámetros son relativamente bajos (media anual de 8 µgNO_x/m³ y 16 µgPST/m³ en Valderejo; 57 µgNO_x/m³ y 35 µgPST/m³ en Llodio). En la estación de Valderejo queda patente su carácter de fondo regional ya que los niveles de PM10 registran un claro máximo en verano.
- Zonas urbanas e industriales (S.Sebastián y Beasain). Presentan niveles de partículas y NO_x superiores a las zonas de fondo (media anual de 114 µgNO_x/m³ y 40 µgPST/m³ en S.Sebastián; 88 µgNO_x/m³ y 52 µgPST/m³ en Beasain), destacando especialmente los elevados niveles de NO_x. En estas estaciones se aprecia una marcada tendencia estacional en cuanto a NO_x, que maximiza en invierno y alcanza valores mínimos en verano.

Como conclusión se ha de destacar que existe una relación entre los niveles de NO_x y PST en el País Vasco, aunque ésta no es tan directa como cabía esperar

considerando la importancia de las emisiones de tipo antropogénico en los niveles de ambos parámetros. Por tanto, aunque es evidente el incremento de los niveles de PST por aportes locales (principalmente en invierno y otoño), se evidencia un perfil estacional de niveles mensuales de PST bastante paralelo en todo el territorio Vasco, lo cual sugiere unos procesos comunes en el control de los niveles de PST.

Con objeto de estudiar la evolución diaria y estacional de los mencionados aportes locales de origen antropogénico, en la Figura 4.1.8 se ha representado la diferencia entre los niveles medios mensuales de PST obtenidos para el periodo 1996-2000 en diferentes tipos de estaciones. Así, la diferencia entre los niveles medios mensuales de PST en Beasain y Valderejo será indicativa de la magnitud de los aportes urbano-industriales registrados en la primera de las estaciones, y la diferencia entre los niveles de S.Sebastián y Llodio y Valderejo reflejará los aportes ligados esencialmente a las actividades urbanas. Al realizar este análisis con los datos de la estación de fondo regional de Valderejo se ha aplicado un factor de 0.7 para la conversión de valores de PM10 a PST (Querol et al., 2002).

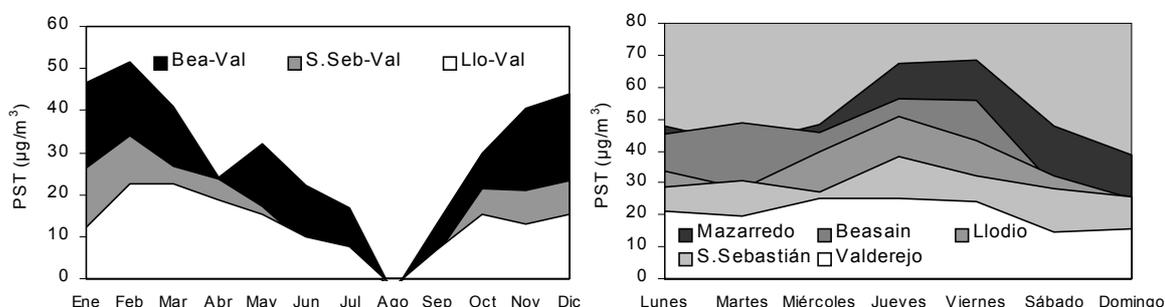


Figura 4.1.8. Izda: Evolución estacional de las diferencias entre los niveles medios mensuales de PST de las estaciones de Beasain (Bea: industrial), S.Sebastián (S.Seb: urbana de tráfico), Llodio (Llo: fondo urbano) y Valderejo (Val: fondo regional). Dcha: Ejemplo de la evolución semanal de los niveles medios de PST (Julio de 2000).

Los resultados muestran en primer lugar una evolución estacional determinada por un mínimo estival en el mes de Agosto, en el que los niveles de PST en Beasain, S.Sebastián y Llodio alcanzan valores muy próximos al fondo regional (Valderejo). Por el contrario, en invierno las diferencias entre estaciones son máximas e incrementan de forma gradual hacia las estaciones de tipo industrial (Beasain), como consecuencia de las mayores tasas de emisión y de la acumulación de contaminantes en los focos de emisión. Dado que en general las emisiones de tipo industrial y la actividad del tráfico pueden considerarse relativamente constantes a lo largo del año, las mayores diferencias registradas en invierno son consecuencia de la menor capacidad dispersiva de la atmósfera y la mayor frecuencia de episodios de contaminación local por anticiclones de bloqueo.

Los niveles medios mensuales de PST en la estación industrial de Beasain en invierno superan en $\sim 45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a los de fondo regional (Figura 4.1.8). Durante el mismo periodo, los niveles de PST en S.Sebastián son $\sim 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ superiores a los de Valderejo, mientras que la mínima diferencia se registra entre Llodio y Valderejo, con un máximo de $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos resultados constatan la gradación entre las diferentes contribuciones a los niveles de material particulado de los entornos urbanos (de fondo y bajo influencia de tráfico) e industriales, con respecto a los niveles de fondo regional.

Una vez analizada la evolución estacional de los aportes locales de material particulado atmosférico, en la Figura 4.1.8 se muestra un ejemplo de la evolución semanal de los niveles medios diarios de PST durante el mes de Julio de 2000, que

refleja en buena medida los aportes locales antropogénicos. La tendencia observada, que se repite también en los demás meses del año, se caracteriza por presentar niveles mínimos al principios y finales de la semana, mientras que los máximos se registran en general de miércoles a viernes. Esta tendencia sería indicativa de la acumulación de contaminantes en la atmósfera a lo largo de la semana, cuya emisión disminuye de forma drástica el fin de semana. Los aportes locales se producen con relativa constancia de lunes a viernes, pero éstos se acumulan con el paso de los días dando lugar a niveles máximos de PST a finales de la semana laboral. Es necesario resaltar que la estación de Valderejo presenta el mismo patrón, aunque de forma mucho menos marcada, dado su carácter de fondo regional. La influencia de la meteorología en forma del paso de frentes o del desarrollo de episodios de contaminación local posee un evidente impacto sobre esta tendencia, ya que determina los niveles de material particulado independientemente del día de la semana. Sin embargo, y durante periodos de relativa estabilidad atmosférica como es el caso del mes de Julio de 2001, la evolución esperable de niveles medios semanales de PST en función de los aportes locales es la descrita en la Figura 4.1.8.

La Figura 4.1.9 muestra un ejemplo de este patrón semanal detectado durante el mes de Junio de 1999. En la serie temporal de niveles de PST (PM10 en el caso de Valderejo) se observa claramente la aparición de dos abombamientos de las curvas situados entre tres periodos de mínimos niveles de partículas, coincidentes con fines de semana. Así, durante cinco días se detectan niveles elevados de PST, y en los dos posteriores se produce un fuerte descenso de los mismos. Los mapas meteorológicos muestran la situación de estabilidad atmosférica dominante durante este periodo en el Norte peninsular, determinada por la influencia del anticiclón de las Azores, que impide la renovación de las masas de aire y favorece la acumulación de contaminantes. El débil gradiente barométrico en superficie genera una situación de calma idónea para la aparición de situaciones episódicas.

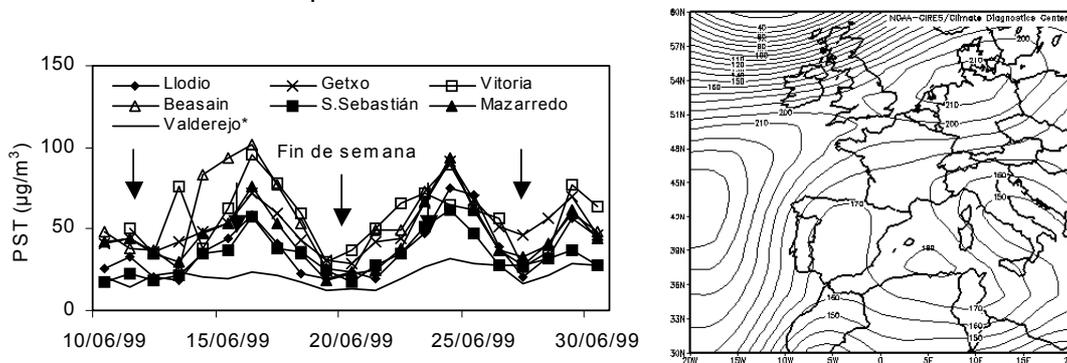


Figura 4.1.9. Niveles de PST en siete estaciones seleccionadas (PM10 en Valderejo) para el periodo comprendido entre el 10-30/06/99, mostrando ciclos semanales de emisión de material particulado antropogénico. Mapa de presión en superficie correspondiente al día 16/06/99.

4.1.5. Áreas fuente: Interpretación de diferentes escenarios de transporte

Una vez determinado el impacto de las emisiones y procesos locales en los niveles de material particulado atmosférico en el País Vasco, es necesario considerar la influencia del transporte de masas de aire a larga distancia, cuyos efectos pueden constituir desde la renovación de las capas bajas de la atmósfera hasta el aporte de contaminantes desde otros continentes. Las posibles procedencias de las masas de aire que alcanzan la zona de estudio han sido estructuradas en 7 sectores o áreas fuente, con objeto de llevar a cabo un estudio de retro trayectorias diarias para el periodo de estudio 1996-2000. La Figura 4.1.10 representa la selección de las áreas

fuentes, definidas como: AN: Atlántico Norte; ANW: Atlántico Noroeste; AW: Atlántico Oeste; ASW: Atlántico Sudoeste; NAF: Norte de África; ME: Mediterráneo; EU: Europa.

Los resultados del análisis de retrotrayectorias para todo el periodo de estudio se muestran en la Tabla 4. El origen mayoritario de las masas de aire que alcanzan el Norte de la Península Ibérica es el océano Atlántico (Norte, Oeste y Noroeste), representando el 69% de los días. El anticiclón de las Azores es el principal causante de este esquema de presiones y vientos, ya que su ubicación tanto en los meses de verano (sobre la cornisa cantábrica, abarcando el Noroeste peninsular) como el invierno (menor intensidad y mayor alejamiento, frente a las costas de Portugal), favorece el transporte de masas de aire desde el cuadrante Noroeste de la Península. En comparación con estos valores, las trayectorias que provienen de Europa (11%) y el Norte de África (8%) resultan minoritarias, aunque la carga particulada que transportan es muy superior. El origen de las masas de aire registrado con menor frecuencia es el Mediterráneo, con sólo un 5% de los días.

La división en estaciones de fondo regional, fondo urbano, urbanas de tráfico e industriales con tráfico se evidencia de nuevo en el estudio del material particulado en función del origen de las retrotrayectorias. Independientemente de su origen, las concentraciones de partículas aumentan claramente desde Valderejo o Llodio hasta Mazarredo, y esta tendencia se observa para todas las trayectorias. Se trata por lo tanto de una nueva confirmación del carácter de fondo regional de la estación de Valderejo, fondo urbano de la estación de Llodio, urbano con tráfico de S. Sebastián e industrial con tráfico de Mazarredo.

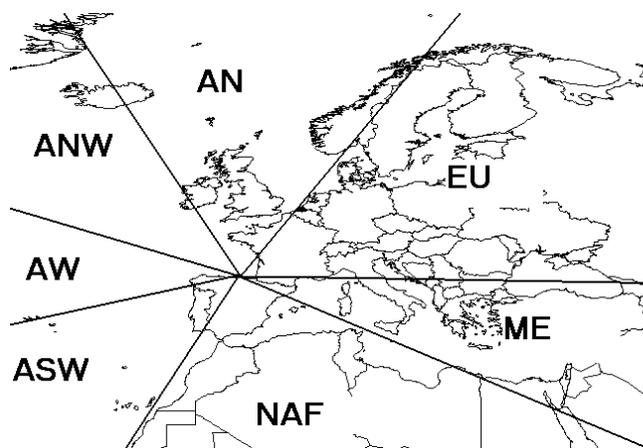


Figura 4.1.10. Sectores o áreas fuente definidos para el estudio de retrotrayectorias.

El estudio de los niveles de PST asociados a cada uno de los sectores de origen permite concluir que los niveles de partículas se distribuyen de forma inversa a las frecuencias de transporte descritas. En términos absolutos los niveles medios registrados bajo días de transporte atmosférico atlántico (Norte, Noroeste y Oeste) varían según el grado de contaminación de cada estación (desde 12-15 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ para Valderejo, 31-33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para Llodio o 45-47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para Mazarredo, Tabla 4.1.4), pero presentan dos rasgos comunes muy claros:

- Presentan los niveles medios más bajos para cada estación, debido a que representan la entrada de aire atlántico que con frecuencia lleva asociado el paso de frentes y/o borrascas que inducen procesos de lavado atmosférico y de renovación de masas de aire.

- Los niveles medios de PST registrados bajo los tres escenarios de transporte son muy similares entre sí, y por tanto es posible hablar de patrones de transporte de masas atlánticas con bajos niveles de PST.

Inversamente, los niveles de PST más elevados se registran, para cada una de las seis estaciones seleccionadas, bajo escenarios de transporte de origen norteafricano y mediterráneo. Los aportes de material particulado detectados bajo patrones de transporte africanos tienen su origen en los desiertos del Sahara y Sahel. Por el contrario, en la cuenca mediterránea no existe ningún foco emisor de material particulado que justifique los elevados niveles de PST asociados a las masas de aire de esta procedencia, lo cual implica la existencia de aportes indirectos a esta zona. Las intrusiones de masas de aire africano impactan sobre ambas costas (oriental y occidental) de la Península Ibérica en función de la época del año, y en verano su influencia suele detectarse en el centro y Este peninsular. El material particulado alcanza entonces la cuenca mediterránea, desde donde es transportado hacia el País Vasco a través de la cuenca del río Ebro (máximo de días con transporte mediterráneo en Agosto y Septiembre, Tabla 4.1.4). Consecuentemente, los elevados niveles de partículas registrados bajo escenarios de transporte mediterráneo tienen su origen último en el desierto del Sahara, y debido a la mayor distancia de transporte los niveles de partículas no son tan elevados como los registrados durante episodios de transporte africano.

Tabla 4.1.4. Frecuencias medias (número medio de días por mes para cada procedencia y % anual) de procedencia de masas de aire según los resultados del análisis meteorológico y de retrotrayectorias realizado para cada uno de los años de 1996-2000 en una estación central del País Vasco. En la parte inferior de la tabla se muestran los niveles medios de PST asociados a cada uno de los patrones de transporte definidos. Las áreas fuente se han clasificado como: AN: Atlántico Norte; ANW: Atlántico Noroeste; AW: Atlántico Oeste; ASW; Atlántico Suroeste; NAF: Norte de África; ME: Mediterráneo; EU: Europa. ^a: Únicamente dos años de datos.

Áreas fuente							
	AN	ANW	AW	ASW	NAF	ME	EU
Frecuencia mensual media (n de días / año)							
Ene	2	10	6	3	5	2	3
Feb	4	12	6	0	2	0	4
Mar	5	10	3	3	3	2	5
Abr	4	11	9	2	1	0	4
May	2	11	4	6	4	1	3
Jun	8	10	3	2	2	2	3
Jul	8	12	1	0	4	1	5
Ago	9	11	3	2	2	3	1
Sep	4	12	2	3	0	4	4
Oct	5	10	6	3	2	2	1
Nov	7	13	4	1	2	0	3
Dic	5	10	8	3	2	1	3
TOTAL	63	130	57	29	29	18	40
Frecuencia anual media							
	17%	36%	16%	8%	8%	5%	11%
PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) media según procedencias							
Beasain ^a	47	46	59	55	72	53	56
Llodio	31	32	33	36	50	41	42
S.Sebastián	35	36	39	39	53	45	45
Mazarredo	45	46	47	51	68	57	56
Getxo ^a	42	44	47	43	56	49	47
Vitoria ^a	39	39	41	46	54	44	44
Valderejo ^a	15	14	12	19	21	20	16

Los niveles de PST registrados bajo este tipo de escenario varían según el grado de contaminación de la estación (desde 20-21 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en Valderejo, 41-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Llodio a 57-68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Mazarredo). En estos casos las diferencias entre los niveles de PST en términos absolutos entre zonas con diferente grado de contaminación es menor que en el caso de los patrones atlánticos, demostrando la importancia de los aportes externos de partículas desde el Norte de África y la cuenca mediterránea. Sin embargo no hay que olvidar que estos patrones de transporte se registraron solamente una media de 47 días al año en el periodo 1996-2000, y que además, durante estos escenarios se registran los menores volúmenes de precipitación lo que puede influir en los mayores niveles de PST.

Los días bajo patrones de transporte atlántico Sudoeste y europeo presentan niveles de PST intermedios entre los patrones atlánticos y africanos-mediterráneos (desde 16-19 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en Valderejo, 36-42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Llodio a 51-56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Mazarredo), siendo los niveles durante episodios europeos próximos a los mediterráneos. Al igual que bajo estos últimos, las diferencias en términos absolutos entre los niveles registrados en las diferentes estaciones es menor que en el caso de los patrones atlánticos. Los niveles intermedios de PST se pueden deber a las siguientes causas:

- Los patrones del atlántico Sudoeste se suelen dar antes y después de intrusiones de aire africano, y por lo tanto pueden llevar asociadas concentraciones relativamente elevadas de partículas.
- Los patrones europeos pueden llevar asociados aportes de PST antropogénicos transportados desde el Este y centro de Europa.
- Al igual que en los casos de origen de africano y mediterráneo, la frecuencia de precipitaciones es menor que en los escenarios atlánticos.

El material particulado procedente de las diferentes áreas fuente puede ser así definido como natural o antropogénico, de modo que los aportes europeos que alcanzan el Norte peninsular suelen ser de origen antropogénico, mientras que aquellos que lo hacen desde África son mayoritariamente naturales. Las partículas transportadas desde el Mediterráneo suelen corresponder a intrusiones indirectas de masas de aire africano, es decir, masas de aire saharianas que en un principio son dirigidas hacia la costa mediterránea y que son posteriormente reconducidas hacia el Norte. Los escenarios de transporte atlánticos se caracterizan por la ausencia de aportes de material particulado, y en caso de considerarse éstos serían de origen natural, compuestos esencialmente por aerosol marino.

4.1.6. Procesos comunes de control de niveles de PST

A través del estudio de los niveles medios diarios y mensuales de partículas en conjunción con el análisis estadístico de la procedencia de las masas de aire que alcanzan el País Vasco, se ha logrado describir los procesos a escala local y de transporte a larga distancia que poseen influencia sobre los niveles de PST en la zona de estudio. A pesar de las particularidades observadas en cada una de las estaciones de muestreo (tipo y grado de emisiones contaminantes) y de los aportes producidos desde las diferentes áreas fuente, se evidencia un perfil estacional de niveles de PST con un elevado paralelismo en toda la zona de estudio, lo cual sugiere unos procesos comunes en el control de los niveles de PST. Entre los procesos con mayor influencia sobre los niveles de material particulado atmosférico destacan:

1. Influencia de la meteorología: precipitación y paso de frentes
2. Intrusiones de masas de aire africano
3. Aportes europeos

4.1.6.1. Influencia de la meteorología: precipitación y paso de frentes

Estos procesos comunes tienen relación en el País Vasco con la meteorología, y en particular con la frecuencia de la precipitación. Existe una relación inversa entre el volumen de precipitación y la concentración de partículas en suspensión que rige en muchas ocasiones la variación intra- e interanual de los niveles registrados en las diferentes estaciones de muestreo. Un ejemplo claro de esta relación se muestra en la Figura 4.1.11, en la que tres estaciones (Llodio, S. Sebastián y Mazarredo), a lo largo de los años 1996-2000, presentan una disminución del nivel de partículas con el incremento de la precipitación. Esta anti-correlación es más marcada en los meses con fuerte precipitación y altos niveles de emisión, y se observa con mayor claridad cuanto mayor es el rango de valores registrados durante el periodo de estudio. Este hecho es significativo dado que se podría decir que en períodos húmedos, con elevados volúmenes de precipitación, es este parámetro el condicionante de los niveles de PST independientemente de la magnitud de las emisiones de material particulado. Sin embargo, la variabilidad del régimen pluviométrico en los 5 años revisados hace imposible modelizar los niveles de partículas en base únicamente a la precipitación.

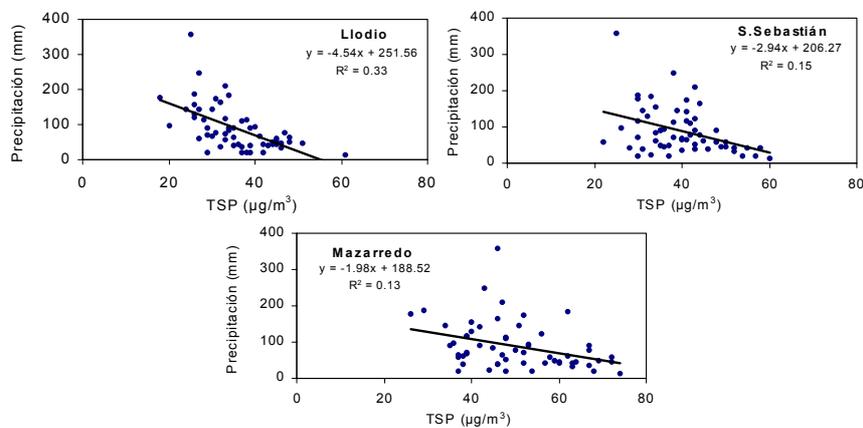


Figura 4.1.11. Correlación entre niveles medios mensuales de PST y precipitación (estación de Sondica) para el periodo 1996-2000 en Llodio, S. Sebastián y Mazarredo.

La importancia de los procesos de lavado inducidos por la precipitación queda patente también en la Figura 4.1.12, que representa la evolución de las medias mensuales de PST de tres estaciones (Llodio, S. Sebastián y Mazarredo) en relación con la inversa de la precipitación mensual (registrada en Sondica) entre 1996 y 2000. Durante todo el periodo se observa una muy buena anti-correlación entre ambos parámetros, con máximos de PST en los meses de menor volumen de precipitación. La evolución de las precipitaciones a lo largo de los cinco años parece seguir un mismo patrón estacional, con marcada pluviometría a principios de invierno y un periodo seco entre Febrero y Marzo. En los meses de verano se aprecia un incremento relativo de el volumen de precipitación. De esta manera se observan para estos años dos máximos en Marzo y Septiembre en la curva de la inversa de la precipitación, que coinciden con la curva de PST, indicando así que la disminución de los niveles de PST en la atmósfera es debida principalmente a la deposición por vía húmeda del material particulado. El año 1998 presenta una tendencia similar aunque no tan clara como en 1996 y 1997, ya que se caracteriza por una importante sequía registrada en verano. En el año 1999 se observa una situación distinta a las anteriores, ya que los niveles de PST y la inversa de la precipitación no poseen una relación tan evidente. Este año se caracteriza por presentar un alto volumen de precipitación en el período de Enero a Marzo, mientras que los meses de verano fueron muy secos. Además de presentar una distinta distribución de las lluvias a lo largo del año, el volumen de precipitación

registrado en este año fue menor que en el periodo 1996-1998 y 2000, con un volumen de precipitación de 1001 mm anuales para 1999 frente a 1135 mm en 1996-1998 y 2000 en Sondica.

Por todo ello es posible concluir que en estos años el nivel de material particulado en la atmósfera se encuentra regulado en gran medida por la precipitación, que favorece su retirada de la atmósfera durante los meses de mayor precipitación. Estos procesos de lavado atmosférico superan entonces los efectos de las emisiones y la capacidad dispersiva de la atmósfera. La influencia de la precipitación sobre los niveles de PST es más evidente en los años con mayor volumen de precipitación (1996-1998 y 2000).

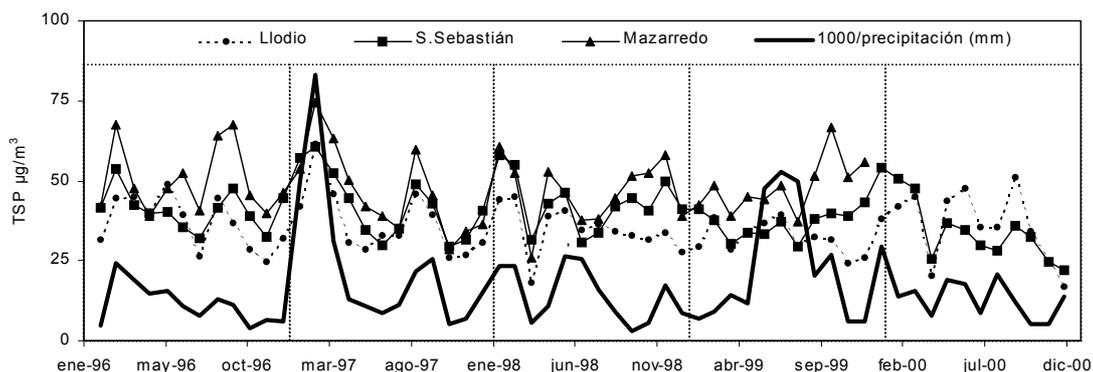


Figura 4.1.12. Evolución de las medias mensuales de PST para las estaciones de Llodio, S. Sebastián y Mazarredo en el periodo 1996-2000, en relación con la inversa de la precipitación mensual registrada en la estación meteorológica de Sondica (multiplicada por un factor de 1000) para el mismo periodo.

De forma complementaria a la acción de la precipitación, se registra en los niveles de material particulado en el País Vasco el efecto del paso de frentes sin precipitación asociada, menos frecuentes en la Cordillera Cantábrica. Estos producen un efecto similar al descrito en relación a las lluvias, y son por tanto determinantes para la calidad del aire durante ciertas épocas del año. El paso de este tipo de frentes tiene como resultado la entrada de aire atlántico con elevada capacidad de renovación de las masas de aire existentes, y la consecuente retirada de material particulado atmosférico a través de la sustitución de masas de aire envejecidas y con elevada carga contaminante por masas de aire limpio de procedencia atlántica con muy reducidos niveles de contaminación. Este efecto puede apreciarse en la Figura 4.1.13, que indica el descenso generalizado de los niveles de partículas detectado entre los días 10 y 19 de Octubre de 2000. El mapa de presiones en superficie muestra el origen de la entrada de aire frío, constituida por un centro de bajas presiones al Oeste del Reino Unido. Al comienzo del episodio, los días 11 y 13, se registraron abundantes precipitaciones (17.1 y 18.4 l/m² respectivamente en el área de Bilbao), que remitieron al partir del día 16 para dar paso a unos días fríos pero secos. Durante estos días (16-19/10/00) no se registraron precipitaciones (máximo de 0.3 l/m² el día 19), y sin embargo se mantiene en la serie temporal el descenso de los niveles de PST. Es importante destacar los niveles alcanzados por las diferentes estaciones de muestreo, en valores absolutos muy similares, que descienden hasta 28 y 27 µgPST/m³ en Beasain y Mazarredo respectivamente. El estudio de retrotrayectorias indica también la potente entrada de aire desde el Norte del océano Atlántico.

4. Series temporales de PST y PM10 (1996-2000): País Vasco

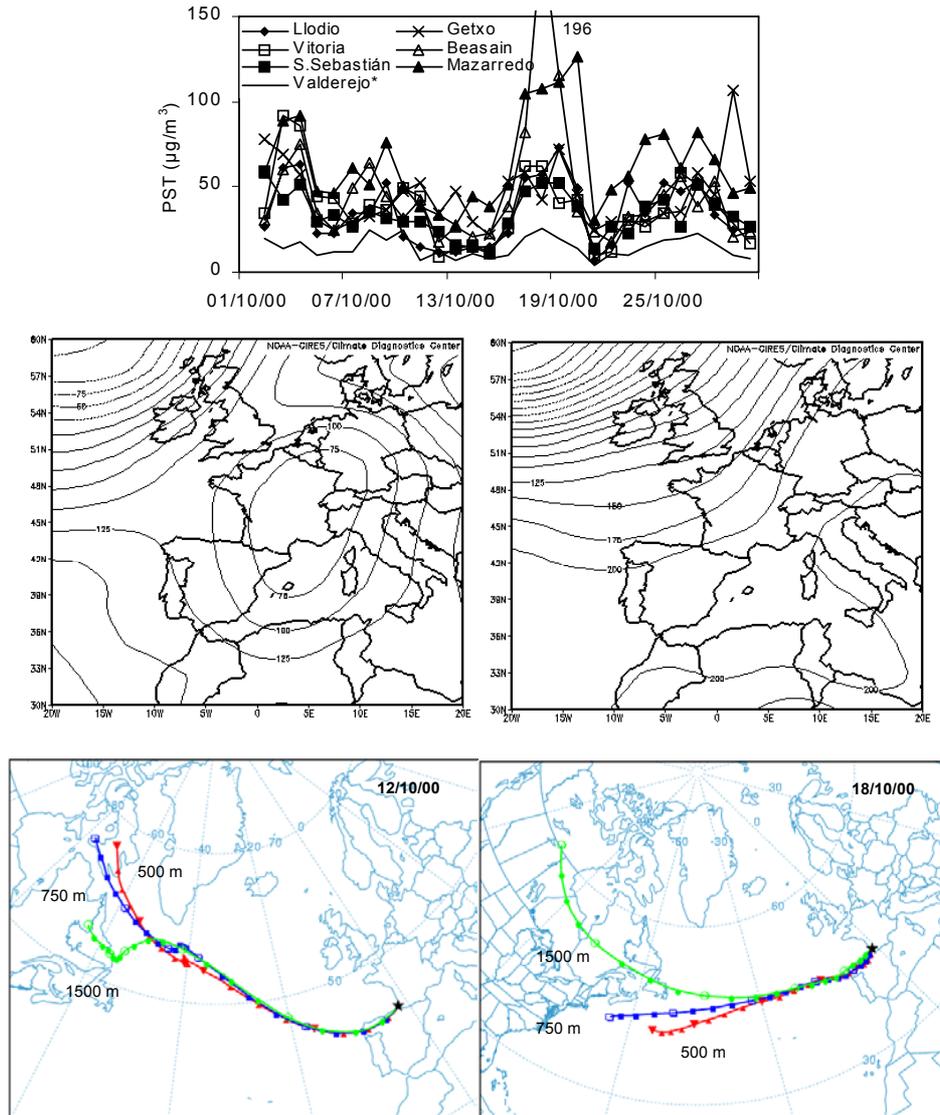


Figura 4.1.13. Ejemplo del efecto sobre los niveles de material particulado del paso de un frente sin precipitación asociada sobre el Golfo de Vizcaya en Octubre de 2000. Mapa de presiones en superficie para los días 15 y 18/10/00, y estudio de retrotrayectorias para las mismas fechas.

4.1.6.2. Intrusiones de masas de aire africano

Se ha descrito en la sección anterior la influencia de la meteorología (en forma de precipitación y paso de frentes y borrascas) en la regulación de los niveles de material particulado a escala mensual y anual en todo el territorio vasco. Además de este mecanismo, existe otro proceso natural con un importante impacto sobre los niveles de PST, cuya influencia se limita a periodos más cortos, en este caso de días. Se trata de los episodios de intrusión de masas de aire de origen africano (desiertos del Sahara o Sahel), que debido a su elevada carga particulada alteran la calidad del aire en la zona de estudio.

El transporte de masas de aire desde el Norte de África hacia el Norte de la Península Ibérica se produce de forma natural como resultado de situaciones meteorológicas determinadas, con un marcado patrón estacional. Existen así dos periodos de máxima probabilidad de ocurrencia de este tipo de episodios: Febrero-Marzo y Julio-Agosto.

Durante estos periodos y a lo largo de los cinco años de estudio se han detectado con regularidad episodios de diversa intensidad y duración, aunque estos también han sido registrados fuera de estos meses a modo excepcional.

Febrero-Marzo: el área fuente del material particulado que alcanza el País Vasco durante estos meses es mayoritariamente el desierto del Sahel, en el que a principios de año se desarrolla una intensa actividad convectiva como consecuencia de las elevadas temperaturas superficiales registradas en esta zona (ver Figura 1.11, "Introducción"). Esta actividad genera una importante inyección de material particulado en la atmósfera, desde donde es transportado siguiendo trayectorias anticiclónicas por acción del sistema de altas presiones del Norte de África. El resultado de estos procesos es una pluma de material particulado que describe un arco sobre el océano Atlántico y alcanza el País Vasco frecuentemente a través de Galicia y el mar Cantábrico (Figura 4.1.14). Con objeto de mostrar el impacto de este tipo de aporte sobre los niveles de material particulado atmosférico se ha seleccionado el episodio ocurrido entre los días 03-07/05/97 y se ha procedido a su estudio en detalle (Figura 4.1.14). El análisis de retrotrayectorias para 5 días muestra el origen atlántico de las masas de aire; sin embargo, en los días precedentes a la intrusión el sector atlántico del que provienen las mismas se encuentra cubierto por la pluma de material particulado africano, de modo que el origen último de las masas de aire que alcanzan la zona de estudio, así como del material particulado, es africano. El impacto de éste sobre la calidad del aire es notable, como se aprecia en la serie temporal de niveles de PST, ya que se alcanzan concentraciones medias diarias de hasta 124, 151 e incluso 218 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en estaciones de fondo urbano (Llodio), industriales (Basauri) y urbanas (Durango) respectivamente (día 06/03/97).

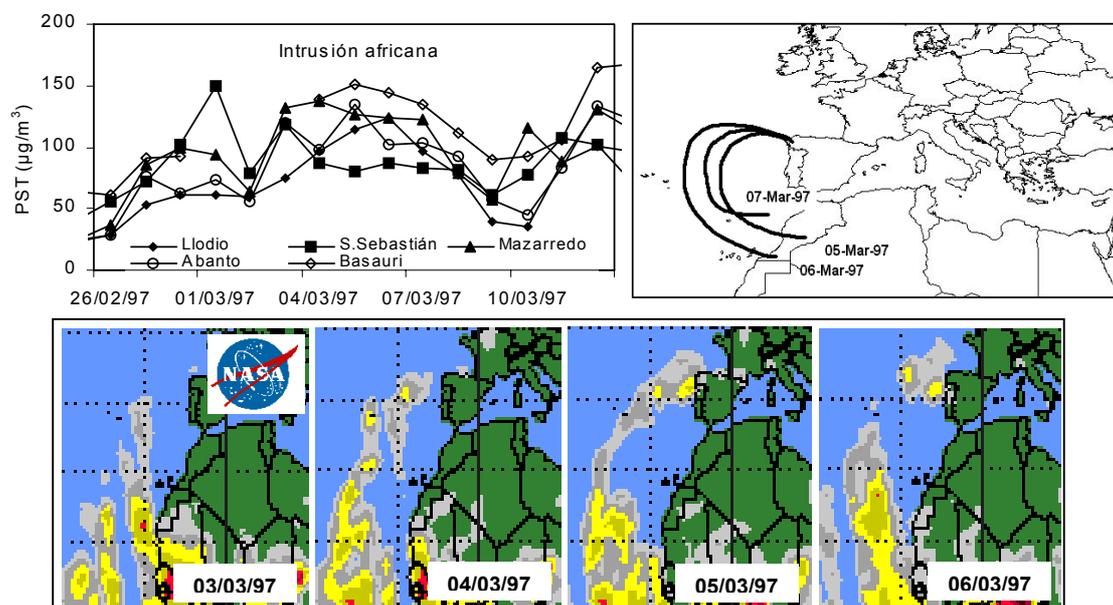


Figura 4.1.14. Ejemplo de aporte de material particulado africano a través del océano Atlántico, como se deduce de la combinación del mapa de índices de aerosoles TOMS (NASA) y del estudio de retrotrayectorias llevado a cabo para los días 5-7/05/97.

Tras llevar a cabo un estudio de este tipo de evento durante el periodo 1996-2000, los resultados obtenidos demuestran que del total de 41 episodios de aporte de material particulado africano al Norte de la Península Ibérica, hasta un 27% se registró entre los meses de Febrero y Marzo, y tuvieron una duración media de 3.7 días por episodio. El mayor número de episodios fue detectado siempre en Marzo. Los aportes producidos durante estos meses poseen el mayor impacto sobre los niveles de

partículas en la atmósfera, ya que bajo este tipo de escenario se registraron niveles medios diarios para todas las estaciones de 80-90 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$, y se alcanzaron concentraciones máximas diarios de $>200 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ (03-06/03/97).

Julio-Agosto: en los meses estivales también se registran aportes de material particulado africano en el Norte peninsular, aunque tanto su origen como su mecanismo de transporte son diferentes a los descritos para Febrero-Marzo. En primer lugar, la distancia que separa el foco emisor de la zona de estudio es en este caso menor, debido a que este se encuentra en el desierto del Sahara. Las temperaturas superficiales más elevadas se registran entonces sobre el desierto del Sahara, provocando al igual que en Febrero-Marzo la inyección de material particulado en las capas altas de la atmósfera. El anticiclón del Norte de África, visible únicamente en altura debido al calentamiento solar de la superficie, genera entonces circulaciones anticiclónicas en torno a 1500 m.s.n.m. que desplazan el material particulado en dirección Oeste y en ocasiones Norte. En este contexto, el material particulado puede ser transportado hacia la cuenca mediterránea, atravesando con frecuencia el Sur y Este de la Península Ibérica. Una vez alcanzado el Mediterráneo occidental, el material particulado puede penetrar hacia el interior peninsular a través de la cuenca del río Ebro, y así finalmente ser registrado en las redes de calidad del aire del País Vasco. Un ejemplo de este tipo de episodio se muestra en la Figura 4.1.15.

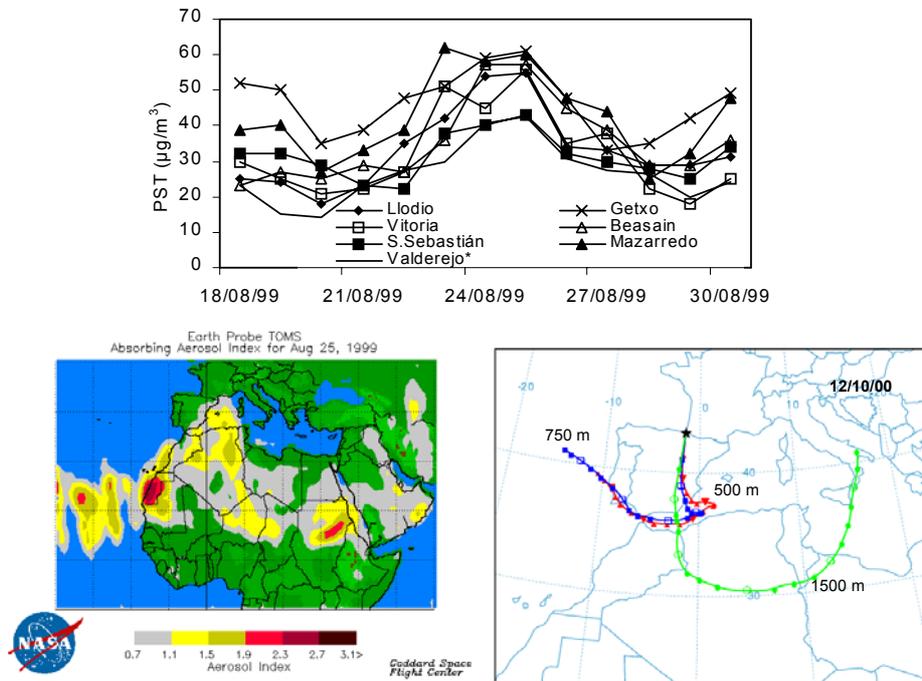


Figura 4.1.15. Aporte de material particulado de origen sahariano al Norte de la Península Ibérica desde la cuenca mediterránea. Serie temporal de niveles de PST (PM10 en Valderejo), mapa de índices de aerosoles TAMS (NASA) para el día 25/08/00 y estudio de retro trayectorias para el mismo día.

El mapa de índices de aerosoles TAMS refleja la elevada concentración de material particulado africano que se encuentra en la cuenca mediterránea y el Sur de la península durante este episodio. Por su parte, el estudio de retro trayectorias revela el transporte desde el Norte de África en las capas más altas de la atmósfera, mientras que en las más bajas éste se produce desde el Estrecho de Gibraltar, también cubierto de aerosol africano. El incremento en los niveles de partículas se produce de forma gradual y alcanza su máximo los días 24 y 25, en los que se registran niveles medios diarios máximos de 60 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en Mazarredo y 55 en Llodio $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$. Es importante destacar la escasa diferencia existente con las concentraciones registradas

en Valderejo (estación de fondo regional), de $43 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$. La retirada de las masas de aire contaminado hacia el Mediterráneo oriental como consecuencia de la circulación anticiclónica produce un nuevo descenso de los niveles de partículas en la atmósfera del País Vasco.

En el total de los cinco años de estudio se detectaron 13 episodios de este tipo en los meses de Julio y Agosto, que representan el 28% del total. Su duración fue sólo ligeramente inferior a la de los episodios de invierno, con una media de 3.3 días por episodio. Sin embargo la principal diferencia en cuanto al impacto sobre los niveles de material particulado estriba en la intensidad de los episodios, que en este caso es menor con una media diaria para todas las estaciones de $60\text{-}70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, y valores diarios máximos de $80 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$. Esta menor intensidad es debida a la mayor altura de inyección de polvo en el desierto del Sahara, que favorece una mayor dispersión de las partículas, en conjunción con la mayor probabilidad de deposición en los episodios estivales debido al mayor transporte por tierra (mayores procesos convectivos e interacción con el terreno).

Además de estos dos periodos en los que la incidencia de episodios de aporte de material africano se detecta con regularidad a lo largo de los cinco años de estudio, existen tres meses que es necesario considerar en relación a este fenómeno: Enero, Mayo y Octubre. La regularidad de las intrusiones africanas es sólo relativa en estos meses, pero es también suficiente para su estudio. El mes de Enero precede al primero de los periodos con mayor riesgo de invasiones africanas, y por tanto éstas pueden producirse por medio de los mismos mecanismos atmosféricos, ligeramente adelantados en el tiempo. Durante este mes se registró entre 1996 y 2000 un total de tres episodios. Durante el mes de Mayo, por el contrario, los tres episodios registrados en el periodo de estudio se produjeron por un mecanismo diferente, por acción de centros de bajas presiones situados al Sudoeste de la península. Este tipo de escenario, característico de los meses de primavera, genera aportes de material particulado sahariano que atraviesan la península antes de alcanzar el País Vasco.

Por último, los meses de Octubre-Noviembre no destacan por su frecuencia de intrusiones africanas, ya que la zona de mayor temperatura superficial en el Norte de África se sitúa sobre el océano Atlántico, y no se producen importantes inyecciones de polvo africano en la atmósfera. Durante el periodo de estudio se ha detectado un único episodio en 1999, que alcanzó cotas máximas de $153 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en Beasain y $77 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en Llodio como media diaria. Sin embargo, y como se verá en secciones posteriores, en Octubre de 2001 se produjeron dos episodios en los que la nube de material particulado atravesó la Península Ibérica de Sur a Norte impulsada por vientos de componente Sur inducidos por dos fuertes borrascas ubicadas al Sudoeste peninsular. Como resultado de estas circulaciones en la estación de Llodio se registraron concentraciones medias horarias de hasta $120 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$. El estudio del mes de Octubre parece ser así justificado debido a la intensidad de sus episodios de contaminación natural.

4.1.6.3. Aportes europeos

El último de los procesos comunes de control de los niveles de material particulado lo constituyen los aportes de contaminantes particulados y gaseosos desde el continente europeo. Este tipo de aporte es difícil de cuantificar, especialmente debido a que los escenarios meteorológicos bajo los que se producen suelen también generar condiciones favorables al desarrollo de episodios de contaminación local. De esta manera, la tarea de discernir el origen último de los contaminantes se vuelve compleja.

Los aportes de material particulado europeo se producen de forma característica bajo dos tipos de escenarios meteorológicos: aquellos determinados por la presencia de potentes centros de altas presiones sobre el Noroeste europeo (Reino Unido, Dinamarca, Polonia, etc., Figura 4.1.16), o de forma menos frecuente, por centros de bajas presiones ubicados sobre el Sudeste europeo (Italia, Grecia, Turquía). Los episodios de este tipo que alcanzan niveles de partículas más elevados suelen producirse bajo el primero de estos escenarios meteorológicos. Como muestra el ejemplo de la Figura 4.1.16, los incrementos en los niveles de partículas llegan a superar el nivel límite diario establecido por la directiva 1999/30/CE, y se mantienen dentro de un rango máximo aproximado de 50-70 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$. Su duración puede oscilar entre 2 y 10 días, y el estudio de retrotrayectorias permite identificar el origen europeo de las masas de aire. A partir de finales del año 2000 una nueva herramienta facilita la identificación de este tipo de aportes, constituida por mapas de concentración de sulfato en superficie Naaps facilitados por el Monterrey Naval Research Laboratory (<http://www.nrlmry.navy.mil/aerosol/>, Figura 4.1.16).

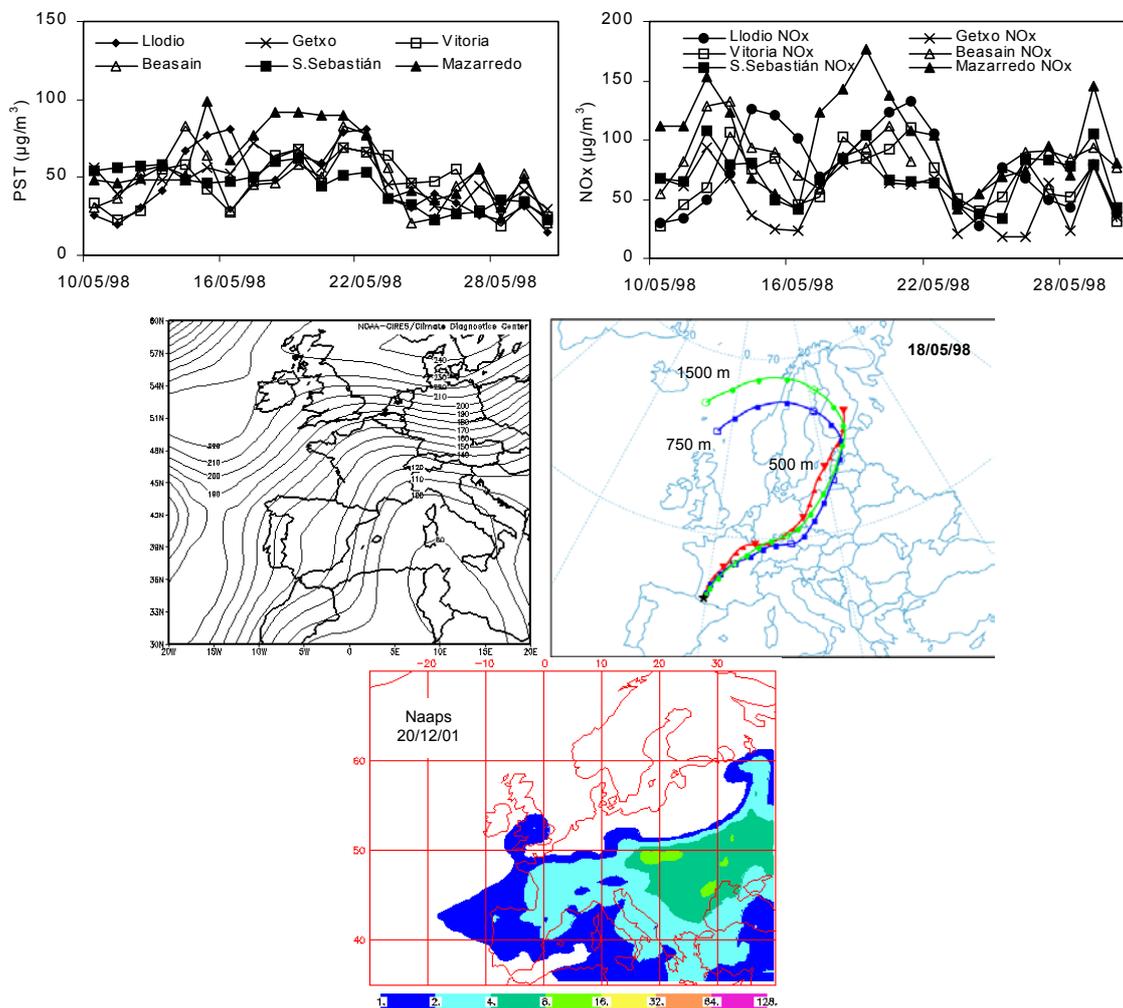


Figura 4.1.16. Posible aporte de material particulado europeo al norte de la Península Ibérica. Serie temporal de niveles de PST, mapa de presión en superficie y estudio de retrotrayectorias para un día central del episodio (18/05/98). Ejemplo de mapa de concentración de sulfato en superficie Naaps ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para el día 20/12/01, en el que se registró un escenario meteorológico similar al descrito para el día 18/05/98.

Sin embargo, a pesar del origen aparentemente europeo de episodios como el indicado en el ejemplo de la Figura 4.1.16, es necesario destacar también la existencia

de una importante componente local del material particulado. Al igual que en los episodios de contaminación local descritos en la Figura 4.1.9, en los eventos considerados europeos se aprecia con frecuencia la existencia de ciclos semanales caracterizados por descensos en los fines de semana (en el ejemplo, los días 10, 17 y 24 corresponden a domingos). Asimismo, se comprueba la buena correlación con contaminantes gaseosos tales como NO_x , lo que hace suponer un origen local al material particulado. Los valores de PST registrados en las diferentes estaciones muestran una gradación desde los niveles alcanzados en Beasain y Mazarredo (con mayor grado de contaminación) a Llodio (estación de fondo urbano), reflejando así el origen local mayoritario de las partículas.

Finalmente, y a modo de resumen, es posible concluir que durante periodos de transporte de masas de aire europeo al Norte de la Península Ibérica se registran incrementos en los niveles de material particulado, los cuales poseen una componente local y otra de transporte a larga distancia, con predominio de la primera.

4.1.7. Episodios de partículas

Una vez definidos los diferentes tipos de procesos tanto naturales como de origen antropogénico (local y de aportes a larga distancia) con influencia en los niveles de material particulado, se ha realizado un análisis estadístico de los episodios con elevadas medias diarias de PST detectados durante el periodo 1996-2000. Dada la existencia de una componente antropogénica local en los episodios europeos, así como la dificultad para la identificación de episodios de tipo estrictamente europeo (se han detectado únicamente tres en el periodo 1996-2000), estos eventos han sido incluidos en una única categoría conjuntamente con los episodios de origen antropogénico. La Tabla 4.1.5 muestra así los resultados de la correlación entre los niveles medios diarios de PST y el origen de los episodios, durante periodos con altos niveles de PST registrados simultáneamente en todas las estaciones y durante varios días. Como resultado final, se ha obtenido un promedio de 41 episodios de este tipo por año en el periodo 1996-2000, de los cuales 31 superan el umbral de $50 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ como media para todas las estaciones, y 14 el de $70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$. Su duración media es de 4.1 días. Los episodios se encuentran distribuidos de forma homogénea a lo largo del año, sin presentar tendencias estacionales claras. La interpretación de estos episodios de altos niveles de PST, basada en el análisis de retrotrayectorias y en la comparación con los niveles de contaminantes gaseosos, ha permitido obtener las siguientes conclusiones:

- Del promedio obtenido de 32 episodios con concentraciones superiores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PST, 24 han sido asignados al origen antropogénico y europeo, mientras que sólo 5 a intrusiones africanas. Se obtiene así una relación del 77% de episodios antropogénicos y europeos frente al 16% naturales, el 7% restante siendo una combinación entre ambos.
- El mayor número de intrusiones africanas con impacto en los niveles de PST tiende a registrarse en el primer trimestre del año. La mayoría (60%) de los episodios supera en promedio el umbral de $70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$.
- Los episodios de tipo antropogénico y europeo no presentan ningún patrón estacional claro, distribuyéndose de forma homogénea a lo largo de los cuatro trimestres del año. Los niveles de PST alcanzados bajo estos escenarios son menores que bajo aportes naturales, ya que únicamente el 38% de los episodios supera el límite de $70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$. Sin embargo, este tipo de episodios son predominantes en cuanto a su mayor frecuencia.

Tabla 4.1.5. Episodios de varios días de duración (media 4.1 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/EU: episodios de origen local y/o europeo; NAF/ANT: episodios de origen africano con componente antropogénica local. Resultados medios para el periodo 1996-2000. n: número de episodios.

	n total	n > 50 PST mg/m ³			n > 70 PST mg/m ³		
		NAF	NAF-ANT	ANT/EU	NAF	NAF-ANT	ANT/EU
Ene-Mar	11	2	1	6	1	1	3
Abr-Jun	10	1	1	7	1	1	2
Jul-Sep	11	1	1	5	1	0	2
Oct-Dic	9	1	0	6	0	0	2
Total	41	5	3	24	3	2	9

Finalmente, se concluye con el predominio de los episodios antropogénicos de contaminación local por material particulado en la atmósfera del País Vasco. Estos episodios contemplan ciclos semanales de emisión, principalmente de tráfico, sobre los cuales se solapan procesos que adicionan (aportes externos naturales o antropogénicos) o sustraen (precipitación y pasos de frentes) material particulado de la atmósfera. Los fines de semana o periodos festivos y vacacionales aparecen muy marcados en las series temporales de niveles de PST, indicando una excesiva proximidad de las estaciones a las emisiones del tráfico. De aquí se concluye que las estaciones de la red de control de calidad del aire del País Vasco, con las únicas excepciones de Llodio y Valderejo, no son representativas de los niveles de fondo urbano.

En relación con los aportes de origen no antropogénico local, la metodología utilizada permite la detección de episodios con altos niveles de PST inducidos por patrones de transporte africanos, mediterráneos, norteafricanos o europeos. Sin embargo, otros aportes de origen natural como material crustal de la Meseta Central y/o de la cuenca del Ebro no son fácilmente identificados por esta vía, y es únicamente a través de los registros químicos de PST que pueden ser evidenciados.

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

El estudio de los niveles de material particulado atmosférico en el País Vasco entre 1996 y 2000, así como de los mecanismos atmosféricos y de emisión que determinan su fluctuación en el tiempo, ha permitido la identificación de fuentes de origen predominantemente antropogénico (tráfico, actividad industrial, aportes europeos, etc.), aunque también natural (intrusiones africanas). En este punto, es posible llevar a cabo la identificación de las superaciones del valor límite diario establecido por la directiva 1999/30/CE debidas a causas antropogénicas y naturales. Esta identificación será de gran utilidad de cara a la aplicación de la directiva, dado que en ella se contempla la excepción de toda superación inducida por causas naturales (erupciones volcánicas, actividad sísmica y geotérmica, incendios forestales, resuspensión de partículas del suelo y transporte de partículas desde zonas áridas).

La Tabla 4.1.6 y la Figura 4.1.17 muestran los resultados de la asignación de un origen natural o antropogénico a la media de las superaciones del valor límite diario de la directiva 1999/30/CE entre 1996 y 2000, así como su distribución estacional. Se han seleccionado las estaciones de Llodio, Abanto, S.Sebastián y Mazarredo para su estudio en detalle debido a su carácter representativo de las estaciones de fondo

urbano, urbanas e industriales (Tabla 4.1.6). El rango medio de las superaciones diarias totales registradas en la zona de estudio oscila entre 34 superaciones en Llodio y 110 en Beasain, mientras que los episodios atribuibles a aportes africanos sólo superan el valor límite entre 7 y 16 días al año. Se demuestra así que a pesar de la identificación y eliminación de las superaciones del valor límite diario de origen africano, el límite establecido por la directiva para el año 2010 ($n=7$) se incumpliría ampliamente la totalidad de las estaciones. En el caso de considerar el límite establecido para el año 2005 ($n=35$), las estaciones de Llodio y San Sebastián cumplirían las exigencias de la directiva en cuanto al número de superaciones, ya que cuentan con 27 y 31 superaciones no africanas en promedio. Las estaciones de Mazarredo y Abanto, por otra parte, incumplirían este límite incluso al descontar las superaciones de origen africano.

Tabla 4.1.6. 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 ($60 \mu\text{gTSP}/\text{m}^3$, teóricamente equivalente a $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) durante el periodo 1996-2000. Se ha diferenciado entre patrones africanos (Afr.) y no africanos (No-Afr.).

	Llodio		S.Sebastián		Abanto		Mazarredo	
	No-Afr.	Afr.	No-Afr.	Afr.	No-Afr.	Afr.	No-Afr.	Afr.
Ene	1	0	4	1	3	2	7	2
Feb	2	1	4	2	4	2	7	3
Mar	6	2	7	2	8	2	12	2
Abr	3	0	2	0	4	0	6	0
May	3	1	2	1	4	1	6	2
Jun	3	1	1	1	3	1	7	1
Jul	1	1	0	1	0	0	4	2
Ago	0	1	0	1	1	2	3	2
Sept	4	0	3	0	6	0	13	0
Oct	2	0	3	1	4	1	10	1
Nov	0	0	2	0	3	0	6	0
Dic	1	0	3	0	4	0	5	1
Total	27	7	31	9	43	11	86	16

Las superaciones del valor límite diario de origen africano se registran con una tendencia estacional clara y constante durante los cinco años (Figura 4.1.17). Por el contrario, la evolución estacional de la superaciones no africanas varía a lo largo de los cinco años, con un único factor común: un mínimo estival. Es necesario destacar que las superaciones consideradas "no africanas" incluyen no sólo las causadas por aportes antropogénicos locales sino también por otros aportes naturales (resuspensión local, aportes de material crustal desde el interior de la península, etc.) y antropogénicos (transporte de contaminantes particulados desde Europa o el Mediterráneo).

La tendencia que presentan las superaciones de origen africano se caracteriza por registrar tres máximos en el año: en el periodo Enero-Marzo (entre 1-3 superaciones medias para los cinco años en las distintas estaciones), Mayo-Agosto (entre 1-2 superaciones medias para los cinco años en las distintas estaciones) y Septiembre-Octubre (1 superación en promedio para los cinco años en las distintas estaciones). Como puede observarse, y de acuerdo con lo descrito en el apartado dedicado a los aportes africanos, la probabilidad de incidencia de las invasiones africanas es máxima a principios de año, y mínima en los meses de Abril, Noviembre y Diciembre. Esta tendencia se observa con claridad en todos los años del periodo 1996-2000.

Por el contrario, las superaciones de origen no africano (esencialmente antropogénicas) se distribuyen de forma heterogénea a lo largo de los cinco años. Sin embargo se detectan los siguientes rasgos comunes:

- un mínimo estival para todos los años
- un máximo en el mes de Marzo (desde n=6 en Llodio hasta n=12 en Mazarredo) en todos los años.
- un máximo en los meses de Noviembre y Diciembre (n=8) de 1998 y 1999.

Consecuentemente, existe una menor probabilidad de registrar superaciones no africanas en verano y mayores probabilidades en Marzo, seguido de los meses de Enero, Noviembre y Diciembre. Este hecho se encuentra relacionado con las condiciones dispersivas de la atmósfera, que se ven reducidas a niveles mínimos en los meses de invierno. La mayor concentración de contaminantes en una capa de mezcla reducida genera las condiciones ideales para la superación de los valores límite permitidos.

Al margen de reconocer las fuertes emisiones de origen antropogénico y el elevado número de superaciones del nivel establecido por la directiva 1999/30/CE que se produjeron en el País Vasco entre 1996 y 2000, es necesario acentuar el hecho de que la mayor parte de las estaciones de muestreo se encuentran ubicadas con demasiada proximidad al tráfico rodado o a focos de emisión industriales, y no representan adecuadamente los niveles de fondo urbano. De este modo, a la conclusión del presente estudio se recomienda fuertemente la reubicación de algunas estaciones, o la nueva instalación de otras, en emplazamientos de fondo urbano real.

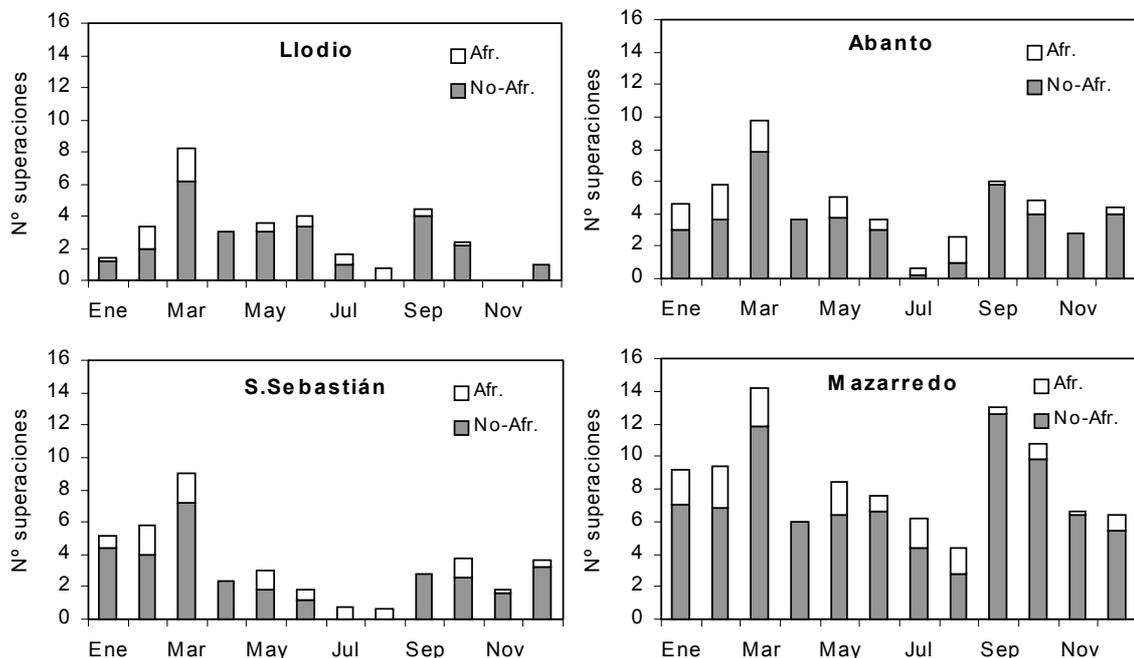


Figura 4.1.17. Distribución estacional de las superaciones del equivalente teórico al nivel límite diario de la directiva europea de calidad del aire ($60 \mu\text{gTSP}/\text{m}^3$, teóricamente equivalente a $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) durante el periodo 1996-2000, con la interpretación de los patrones de transporte. Se ha diferenciado entre patrones africanos (Afr.) y no africanos (No-Afr.).