

4.2. Canarias

4.2.1. Selección de series temporales y criterios de interpretación

Para el presente estudio se seleccionaron 19 estaciones de control de calidad del aire (Tablas 4.2.1 y 4.2.2 y Figura 4.2.1), de acuerdo con los responsables de las Direcciones Generales de Salud Pública e Industria y Energía del Gobierno Canario. Tras una intercomparación preliminar de las series temporales de niveles de material particulado obtenidas en las citadas estaciones, se detectaron patrones idénticos de variación entre algunas de ellas y por tanto para el estudio detallado de las series se redujo el número de estaciones a 10 (5 estaciones en Tenerife y 5 en Gran Canaria, Tabla 4.2.3).

Las estaciones de control de calidad del aire de Canarias dependientes de la Dirección General de Salud Pública están equipadas con instrumentación automática de medida de PST de tipo atenuación beta (FAG). A partir de Julio de 1999 se instalaron cabezales PM10 en todas las estaciones de Gran Canaria (6 de Julio) y de Tenerife (7 de Julio). Por ello el estudio se realiza en base a las series de PST para el periodo 1995 - Junio 1999, y de PM10 para Julio 1999 - 2000. La disponibilidad de datos es inferior al 60% para 1996 en todas las estaciones debido a problemas de mantenimiento.

Los datos suministrados por la Dirección General de Industria y Energía provienen de las redes de control de las Centrales Térmicas de Juan Grande (Gran Canaria) y Granadilla (Santa Cruz de Tenerife), pertenecientes a la compañía eléctrica UNELCO. Estas estaciones son controladas en tiempo real por el Centro de Control de Emisiones Industriales (CEI), y están equipadas con instrumentación automática de medida de PST de tipo TEOM, modelo TEOM-1400A. En cuanto a la disponibilidad de datos, ésta es muy alta para todas las estaciones (>95%) para el período 1998 - Junio de 2000, excepto para la estación de Maspalomas, sin datos desde Julio de 1999.

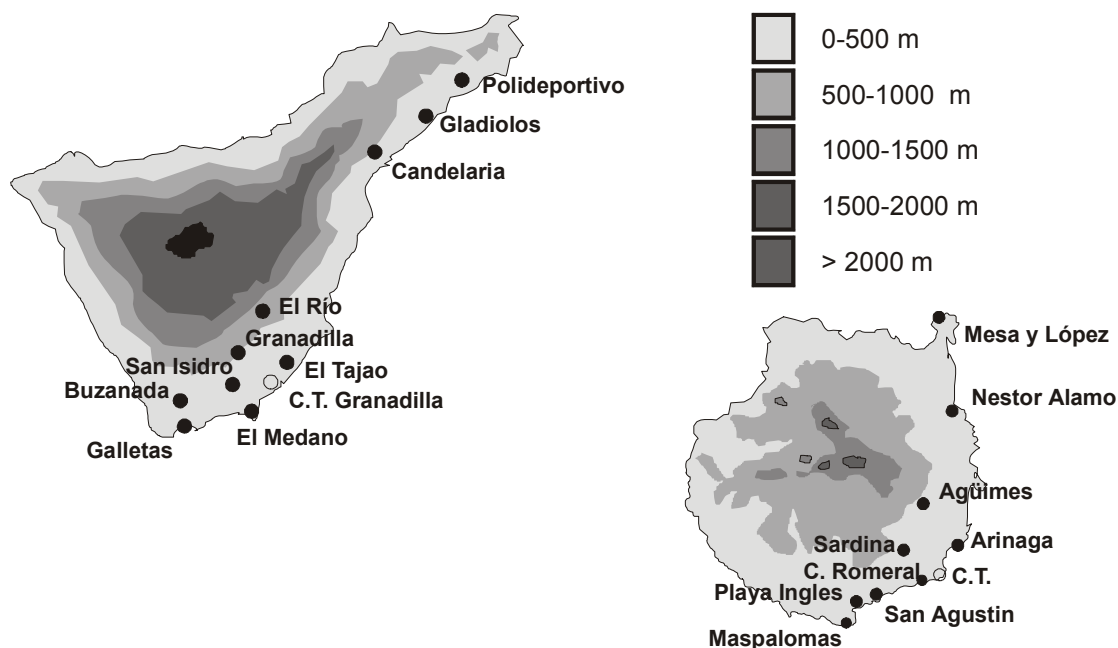


Figura 4.2.1. Localización de las estaciones de control de calidad del aire seleccionadas para el estudio de series de niveles de PST en las Islas Canarias.

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

Tabla 4.2.1. Relación y características de las estaciones seleccionadas para el estudio de series de niveles de PST en las Islas Canarias. TI: tráfico intenso; TM: tráfico moderado; TL: tráfico ligero. * Sustitución de medida de PST por PM10 a partir de Julio de 1999.

Nº	Nombre	Tipo	Red de control	Isla	Coordenadas	Altitud (m)	Medida PST ó PM10
1	Néstor Álamo*	Industrial	DGSP	GC	28°02'00" N 15°24'29" W	48	Atenuación Beta
2	Mesa y López*	Urbana/TI	DGSP	GC	28°08'04" N 15°24'49" W	14	Atenuación Beta
2B	Mercado Central*	Urbana/TI	DGSP	GC	28°08'06" N 15°25'52" W	20	Atenuación Beta
3	Polideportivo Tomé Cano*	Urbana/TI	DGSP	TF	28°27'49" N 16°15'37" W	68	Atenuación Beta
4	Gladiolos*	Urbana/TI	DGSP	TF	28°27'37" N 16°16'02" W	95	Atenuación Beta
5	Igüeste*	Suburbana	DGSP	TF	28°23'00" N 16°22'24" W	480	Atenuación Beta
6	San Agustín	Urbana/TI	DGIE	GC	27°46'25" N 15°32'22" W	18	TEOM
7	San Isidro	Urbana/TI	DGIE	TF	28°04'40" N 16°33'35" W	200	TEOM
8	Arinaga	Urbana/TM	DGIE	GC	27°52'07" N 15°23'17" W	190	TEOM
9	C. Romeral	Urbana/TM	DGIE	GC	27°47'50" N 15°27'30" W	9	TEOM
10	Agüime	Urbana/TM	DGIE	GC	27°54'20" N 15°26'43" W	286	TEOM
11	Sardina	Urbana/TM	DGIE	GC	27°50'12" N 15°27'40" W	190	TEOM
12	Playa del Inglés	Urbana/TM	DGIE	GC	27°45'40" N 15°34'08" W	17	TEOM
13	El Tajao	Urbana/TM	DGIE	TF	28°06'40" N 16°28'10" W	20	TEOM
14	El Médano	Urbana/TM	DGIE	TF	28°02'20" N 16°32'20" W	5	TEOM
15	Galletas	Urbana/TM	DGIE	TF	28°00'25" N 16°39'20" W	3.5	TEOM
16	Maspalomas	Urbana/TL	DGIE	GC	27°44'07" N 15°35'48" W	3	TEOM
17	Granadilla	Urbana/TL	DGIE	TF	28°07'20" N 16°34'25" W	215	TEOM
18	Buzanada	Rural	DGIE	TF	28°04'15" N 16°39'15" W	322	TEOM
19	El Río	Rural	DGIE	TF	28°08'35" N 16°39'20" W	500	TEOM

Es necesario destacar que las medidas de los niveles de material particulado en 1998 y hasta Julio de 1999 fueron realizadas como PST en todas las estaciones. A partir de esta fecha, en las estaciones de Mesa y López (posteriormente Mercado Central), Néstor Álamo, Polideportivo y Gladiolos se efectuó un cambio en los equipos y pasaron a medir niveles de PM10. El resto de estaciones mantiene la medida de PST hasta este momento.

4.2.2. Niveles de partículas

La selección de estaciones de muestreo llevada a cabo en Canarias puede estructurarse en cuatro categorías en función de las emisiones y los niveles de material particulado registrados. Se distinguen así estaciones urbanas con influencia

industrial, urbanas con tráfico intenso, urbanas con tráfico ligero o moderado y rurales. Dadas las características particulares del archipiélago canario existe una gran diferencia entre los niveles registrados en las dos primeras y las dos últimas categorías. Las estaciones que son consideradas urbanas con influencia de tráfico intenso o industriales se encuentran situadas en las capitales de ambas islas (Santa Cruz de Tenerife y Las Palmas de Gran Canaria), suponiendo esto que se encuentran bajo fuerte influencia antropogénica o en la proximidad de autopistas. Por el contrario, las estaciones urbanas con tráfico moderado y rurales se encuentran ubicadas en núcleos de población menores o en zonas alejadas de vías de tráfico intenso.

Entre las diez estaciones seleccionadas se ha pretendido escoger puntos representativos de cada una de estas categorías en ambas islas. En un principio, como estaciones rurales se seleccionaron El Río y Arinaga, aunque el estudio de los niveles registrados reveló el carácter más urbano y con ligera influencia antropogénica de Arinaga. La estación de El Río sin embargo es un ejemplo de estación rural debido a su ubicación y su altitud sobre el nivel del mar (500 m), ya que como se verá en secciones posteriores es un indicador de gran utilidad en la identificación de episodios de transporte de material particulado africano en altura. En cuanto a las estaciones industriales, la más representativa es Néstor Álamo, seguida por Gladiolos y Polideportivo en menor medida. La estación que recoge mayor influencia y proximidad al tráfico intenso es Mesa y López, que fue reubicada a una zona de fondo urbano y pasó a denominarse Mercado Central. Por último, el resto de estaciones (Sardina, Playa del Inglés, Galletas) son representativas de núcleos urbanos de menor tamaño con influencia moderada de emisiones antropogénicas.

Las diferentes características de las estaciones según la clasificación expuesta se ven reflejadas en los niveles de partículas en suspensión que se registran en ellas, como muestran las Tablas 4.2.2 y 4.2.3. Como cabía esperar, los valores máximos aparecen en las estaciones con mayor influencia antropogénica (Néstor Álamo y Mesa y López) tanto en las medias mensuales y anuales de PST y PM10, como en el número de superaciones del límite diario de PM10 establecido por la directiva 1999/30/CE. El mínimo, por otra parte, se registra siempre en El Río (Tablas 2 y 3). Las medias anuales pueden ser clasificadas en cuatro categorías: $<20 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, entre 20 y $30 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, de $30-40 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ y $>40 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ (Figura 2).

Dentro del primero de los rangos ($<20 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) estarían situadas las estaciones rurales como El Río y de tráfico ligero como Granadilla, con medias anuales de 23 y $29 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, equivalentes a 19 y $20 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$. Estas estaciones son las más indicadas para estudiar posibles aportes de material particulado externo. La estación de El Río será tomada como referencia de fondo regional dado que sus valores son considerablemente menores que los registrados en Granadilla y que, como ya se ha mencionado, su situación a 500 m de altitud es idónea para el estudio de los aportes de material particulado atmosférico por transporte a larga distancia.

Dentro del segundo rango de niveles de partículas en suspensión se encuentran estaciones de fondo urbano como Galletas y Playa del Inglés, con valores medios anuales de 34 y $40 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, equivalentes a 23 y $28 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ respectivamente. Las estaciones de tráfico se catalogarían en general dentro del tercer rango, como Sardina ($40 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, $28 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$), El Médano ($50 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, $35 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) y Arinaga ($41 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, $29 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$), aunque esta última es realmente una estación con tráfico moderado y una elevada tasa de resuspensión local debido a la extrema aridez de la zona y a los fuertes vientos que la afectan, y por lo tanto registra niveles elevados de PM10.

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

Tabla 4.2.2. Niveles medios anuales de PST y PM10 en las Islas Canarias, 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%. *: Traslada en Julio de 1999 a Mercado Central.

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	Mesa y López*	67	105	17	2	Néstor Álamo	83	41	25
	1995	73	92	28		1995	ND	ND	ND
	1996	ND	ND	ND		1996	ND	ND	ND
	1997	59	194	14		1997	60	46	24
	1998	75	156	14		1998	89	55	31
	1999	65	ND	18		1999	81	30	25
	2000 (PM10)	43	58	10		2000 (PM10)	70	34	20
3	Iguate	41	26	15	4	Polideportivo	59	55	18
	1995	44	44	16		1995	52	56	29
	1996	ND	ND	ND		1996	ND	ND	ND
	1997	ND	ND	ND		1997	41	52	11
	1998	ND	ND	ND		1998	69	53	10
	1999	37	ND	13		1999	43	ND	22
	2000	40	24	15		2000 (PM10)	64	61	18
5	Gladiolos	54	25	14	6	Arinaga	41	27	8
	1995	41	ND	10		1995	ND	ND	ND
	1996	ND	ND	ND		1996	ND	ND	ND
	1997	35	31	16		1997	ND	ND	ND
	1998	59	23	13		1998	39	31	10
	1999	49	25	13		1999	31	22	6
	2000 (PM10)	60	42	9		2000	52	26	7
7	C. Romeral	46	47	13	8	San Agustín	73	54	8
	1998	62	64	20		1998	102	37	10
	1999	39	48	12		1999	67	47	6
	2000	39	28	6		2000	50	77	7
9	Mas Palomas	55	38	7	10	Agüime	46	56	9
	1998	55	38	8		1998	58	78	11
	1999	ND	ND	ND		1999	35	61	7
	2000	ND	ND	ND		2000	45	30	9
11	Sardina	40	47	6	12	Playa del Inglés	40	48	9
	1998	46	52	8		1998	33	36	9
	1999	34	44	6		1999	37	47	9
	2000	40	45	5		2000	50	63	9
13	El Tajao	38	23	9	14	El Médano	50	39	8
	1998	44	21	7		1998	54	37	7
	1999	32	24	11		1999	42	44	9
	2000	39	24	11		2000	53	36	7
15	Galletas	34	33	8	16	El Río	23	21	8
	1998	44	31	6		1998	22	19	8
	1999	33	36	9		1999	18	23	9
	2000	23	31	9		2000	29	21	8
17	San Isidro	51	31	8	18	Buzanada	38	24	9
	1998	58	30	6		1998	46	21	7
	1999	42	34	8		1999	35	23	11
	2000	53	30	8		2000	35	28	11
19	Granadilla	29	25	8					
	1998	28	24	7					
	1999	27	23	9					
	2000	31	29	9					

Por último, las estaciones cuya media anual supera $40 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ se caracterizan por encontrarse bajo fuerte influencia antropogénica, tanto de tráfico como industrial, y se trata principalmente de Mesa y López ($67 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, $46 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) y Néstor Álamo ($83 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, $56 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$). Las estaciones de Polideportivo ($59 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, $41 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) y Gladiolos ($54 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, $39 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) se encuentran entre las estaciones con mayor influencia antropogénica, y sus niveles son principalmente consecuencia de la existencia de complejos industriales en sus proximidades. En ambas estaciones se registran los impactos esporádicos de los penachos de la central térmica de Caletillas y de una refinería ubicada al Noroeste de la isla de Tenerife.

Los niveles de contaminantes gaseosos tales como NO_x y SO_2 muestran una menor diferenciación entre los distintos tipos de estación. Así, las estaciones urbanas (excepto Mesa y López) presentan entre 25 y $77 \mu\text{gNO}_x/\text{m}^3$ y entre 5 y $11 \mu\text{gSO}_2/\text{m}^3$ para los diferentes años del periodo, mientras que en las industriales se alcanzan rangos de concentración comprendidos entre 30 y $61 \mu\text{gNO}_x/\text{m}^3$ y entre 10 y $31 \mu\text{gSO}_2/\text{m}^3$. Como cabía esperar, en las estaciones rurales se registran los menores niveles de estos contaminantes, que oscilan entre 21 - $24 \mu\text{gNO}_x/\text{m}^3$ y 8 - $9 \mu\text{gSO}_2/\text{m}^3$.

Esta tendencia observada con respecto a las medias anuales de PM_{10} se detecta también en las superaciones del valor límite diario establecido por la directiva europea de calidad del aire (Tabla 4.2.3, Figura 4.2.2). El máximo número de superaciones medias anuales para 1998-2000 fue registrado en la estación de Néstor Álamo ($n = 143$), seguido de Mesa y López ($n = 85$), y se aprecia que la diferencia entre el valor de n entre estas dos estaciones es mayor en términos absolutos que la diferencia entre sus medias anuales. La misma situación se observa entre las estaciones de Mesa y López y Gladiolos o Polideportivo, y es debida a la influencia industrial. A modo de ejemplo, la diferencia entre las medias anuales de Néstor Álamo y Mesa y López es únicamente de $10 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, mientras que esta última registró 58 superaciones menos del límite diario de la directiva que la primera. Dado que la estación de Néstor Álamo se encuentra ubicada en las proximidades de una planta desalinizadora, es posible suponer que recibe frecuentes impactos de las emisiones de dicha planta y que las concentraciones de partículas en suspensión no son muy elevadas, con lo que la media anual permanece dentro de un rango de 40 - $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ mientras que el número de superaciones alcanza 143.

Las estaciones urbanas como Playa del Inglés, Sardina o Arinaga y de fondo regional (El Río) registraron una media de 30 y 17 superaciones anuales respectivamente, valores muy superiores a las 7 superaciones permitidas. Es necesario considerar que este valor incluye las superaciones de origen natural pero también antropogénico debido a que la mayoría de las estaciones aquí reflejadas se encuentran bajo diversos grados de influencia antropogénica. Las estaciones de Playa del Inglés y Galletas representan hasta cierto punto los niveles de fondo urbano dada su ubicación en núcleos con influencia moderada de tráfico. Por el contrario, estaciones como Mesa y López, Néstor Álamo o Polideportivo reciben de forma directa impactos de penachos industriales y/o de tráfico, y por tanto no reflejan los niveles de fondo urbano en su región. Por último, la clasificación de Gladiolos y El Médano es compleja. Aunque hay una cierta influencia industrial, los niveles relativamente bajos de NO_x y SO_2 sugieren que serían adecuadas para la selección de emplazamientos de fondo urbano-industrial.

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

Tabla 4.2.3. Niveles medios mensuales y anuales de PM10 para el periodo 1998-2000, así como número de días con PM10 > 50 µg/m³.

Media mensual	Mesa y López	Néstor Álamo	Arinaga	PI.Inglés	Sardina	Polideportivo	Gladiolos	El Médano	Galletas	El Río
ENE	51	48	27	20	25	34	35	30	23	11
FEB	77	101	53	44	49	73	71	55	43	38
MAR	52	72	46	40	39	63	57	50	33	35
ABR	47	50	25	20	21	28	27	30	21	12
MAY	39	47	19	20	21	26	26	24	18	11
JUN	45	58	23	25	30	33	34	33	18	13
JUL	39	53	22	27	24	35	36	36	20	11
AGO	42	54	23	35	30	43	43	37	26	16
SEPT	32	43	19	27	24	31	28	25	18	9
OCT	33	57	23	28	29	43	38	32	22	12
NOV	43	51	37	31	29	50	43	38	23	15
DIC	49	38	25	20	19	34	32	29	16	13
Media anual	46	56	29	28	28	41	39	35	23	19

PM10>50 µg/m ³	Mesa y López	Néstor Álamo	Arinaga	PI.Inglés	Sardina	Polideportivo	Gladiolos	El Médano	Galletas	El Río
ENE	12	7	4	2	4	4	4	4	4	1
FEB	11	14	8	6	7	11	10	10	7	6
MAR	14	17	8	5	7	12	11	9	6	6
ABR	13	11	0	0	1	3	2	3	0	0
MAY	5	10	0	1	0	0	1	1	0	0
JUN	9	16	1	1	1	3	3	4	1	0
JUL	2	15	0	1	0	3	5	4	0	0
AGO	5	17	1	5	3	9	7	5	1	2
SEPT	3	6	0	2	1	3	1	0	0	0
OCT	1	12	1	2	3	6	5	4	1	1
NOV	6	12	4	4	3	8	6	5	3	1
DIC	7	6	2	2	1	4	3	3	1	0
Suma total	85	143	30	30	30	66	59	50	24	17

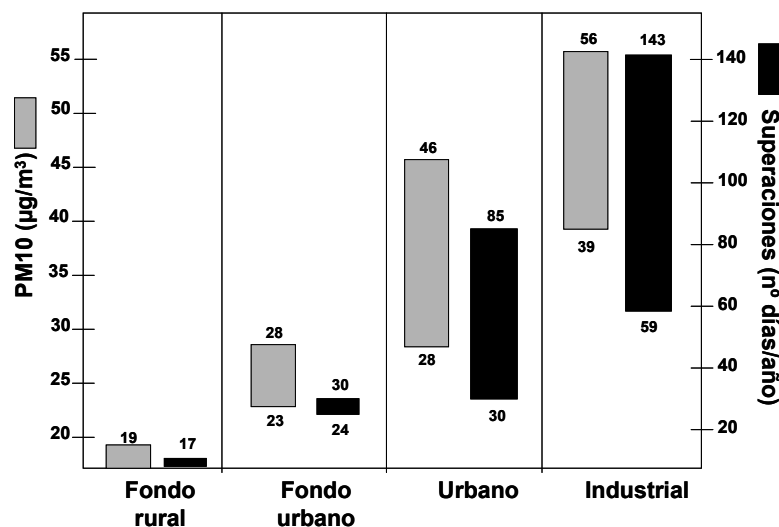


Figura 4.2.2. Rango de niveles medios anuales y del número medio anual de superaciones del valor límite diario según el tipo de estación.

De esta manera, y a modo de resumen, es posible efectuar una clasificación de las estaciones seleccionadas en función de su grado de contaminación, y así establecer tres categorías:

ESTACIONES DE FONDO RURAL: El Río. Se trata de estaciones situadas en zonas no urbanizadas que no reciben el impacto directo de emisiones de tipo antropogénico, y que presentan por ello niveles relativamente bajos de PST (18 a 29 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$, equivalente a 13-20 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$), NO_x (19 a 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y SO_2 (8 a 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

ESTACIONES DE FONDO URBANO O URBANAS CON TRÁFICO MODERADO: Núcleos urbanos de pequeño tamaño tales como Galletas, Arinaga y Playa del Inglés, que registran valores representativos del fondo urbano. Asimismo, se incluyen dentro de esta categoría las estaciones ubicadas en núcleos de mayor envergadura y situadas a una distancia superior a 20 m de las vías principales de tráfico, como es el caso de Mercado Central o Sardina. Los niveles de partículas de este tipo de estaciones oscilan entre 31 y 43 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ (equivalente a 22-30 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$). Los niveles de NO_x y SO_2 presentan un rango de 27-58 $\mu\text{gNO}_x/\text{m}^3$ y 8-10 $\mu\text{gSO}_2/\text{m}^3$, respectivamente.

ESTACIONES URBANAS: Mesa y López. Se trata generalmente de núcleos urbanos de mediano y gran tamaño, así como de puntos donde la influencia del tráfico es muy elevada debido a la excesiva proximidad de las estaciones a las vías de tráfico. Los niveles de partículas son por tanto elevados (42-75 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$, equivalente a 30-52), NO_x (58-194 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y SO_2 (10-11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Debido a su proximidad a las vías de tráfico intenso, estas estaciones no serían adecuadas para la medida de los niveles de PM_{10} representativos de fondo urbano. Sin embargo, son un buen indicativo de los niveles de estaciones de tráfico.

ESTACIONES URBANAS CON INFLUENCIA INDUSTRIAL: Néstor Álamo, Polideportivo y Gladiolos. Este tipo de estaciones se caracteriza por estar situado en las proximidades de zonas industriales, como las centrales térmicas de Caletillas y Jinamar, plantas potabilizadoras o industrias cerveceras o refinerías. Generalmente se encuentran ubicadas fuera de los núcleos urbanos y se ven influenciadas de forma esporádica por los penachos industriales. Los niveles de PST registrados en ellas se

encuentran dentro de un rango de 54 a 90 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ (equivalente a 38-63 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$), y los de NO_x y SO_2 entre 30-61 $\mu\text{gNO}_x/\text{m}^3$ y 10-31 $\mu\text{gSO}_2/\text{m}^3$, respectivamente.

Estos resultados demuestran que los valores límite diario y anual establecidos por la directiva europea 1999/30/CE para el año 2010 (límite anual=20 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, límite diario=50 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ superable n=7 días/año) serían incumplidos por todas las estaciones seleccionadas, con la única excepción de El Río en cuanto al límite anual (16 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, Figura 4.2.3). Por el contrario, los límites establecidos para el año 2005 (límite anual=40 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, límite diario=50 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ superable n=35 días/año) no serían excedidos por las estaciones de fondo urbano y tráfico moderado de Galletas, Sardina, Playa del Inglés y Arinaga (Figura 4.2.3). Las cinco estaciones con mayor grado de influencia antropogénica excederían ambos límites incluso en el año 2005 (sólo Gladiolos cumpliría el límite anual).

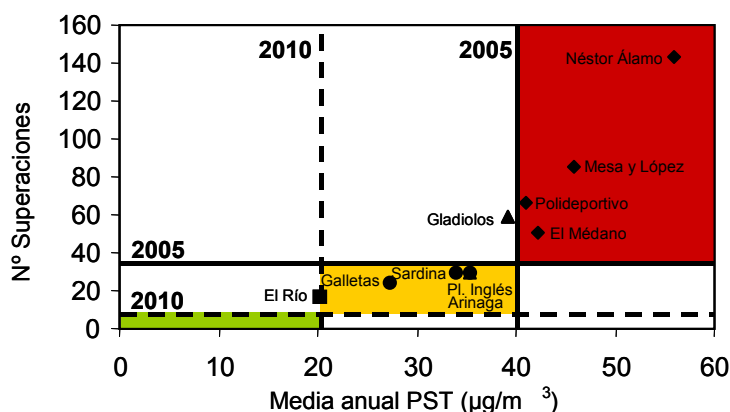


Figura 4.2.3. Evaluación del grado de cumplimiento de los requisitos impuestos por la directiva 1999/30/CE (promedio anual= 40 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en 2005, equivalente a 57 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ y 20 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en 2010, equivalente a 30 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$, y número de superaciones de 50 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, equivalente a 70 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$), 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.

4.2.3. Variación interanual

Los niveles medios anuales de PST y PM10 reflejados en la Tabla 4.2.2 demuestran que para los cinco años de estudio no existe una tendencia general clara, al incrementar y disminuir los niveles a lo largo de los años en las distintas estaciones de forma arbitraria. El único factor común entre la mayoría de estaciones parece ser los elevados niveles de PST alcanzados en 1998, y al mismo tiempo el año 2000 destaca también por el incremento con respecto a años anteriores. La peculiaridad de estos años respecto al resto consiste en el fuerte impacto producido por aportes de masas de aire africano con elevada carga particulada (Figura 4.2.4). En cuanto a los niveles de contaminantes gaseosos, no se observa paralelismo entre los niveles de PST, NO_x y SO_2 , alcanzándose por lo general los máximos de ambos parámetros en años diferentes (con la excepción de Néstor Álamo y C. Romeral). No se detecta tampoco proporcionalidad entre los niveles de SO_2 , NO_x y PST entre las diferentes estaciones, debido probablemente a la diversidad de fuentes de emisión.

Los niveles medios de partículas obtenidos para el periodo 1998-2000 abarcan un rango desde 23 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ (El Río, fondo regional) hasta 83 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ (Néstor Álamo, industrial), que son aproximadamente equivalentes a 16 y 58 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$. La desviación típica con respecto a la media del periodo es de 6-8 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ para

estaciones como Mesa y López, Playa del Inglés, Sardina, El Médano y El Río, y superior ($10-14 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$) en Néstor Álamo, Arinaga, Polideportivo, Gladiolos y Galletas. Como puede observarse, la variación interanual de los niveles de PST parece ser independiente del tipo de estación, aunque las estaciones con mayor grado de contaminación (Néstor Álamo, Gladiolos y Polideportivo) presentan también mayor desviación típica.

La Figura 4.2.4 muestra la variación mensual de los niveles de partículas y número de superaciones del límite diario establecido por la directiva durante el periodo 1997-2000. Los niveles de material particulado muestran un máximo persistente entre los meses de Febrero-Marzo en todos los años, que representa el rasgo más característico de la serie temporal anual. El año 1999 constituye una excepción ya que no presenta ningún incremento marcado durante estos meses. El número de superaciones del valor límite diario presenta una mayor variabilidad debido a que no se trata de valores promedios como es el caso de los niveles de PST, aunque se detecta también de forma constante a lo largo de los años un máximo en Febrero-Marzo. Este máximo, como se verá posteriormente, está directamente relacionado con episodios de transporte de polvo africano. Destaca tendencia registrada en cuanto al número de superaciones en la estación de Néstor Álamo en el año 1999, diferente a la registrada en el resto de los años y en el resto de estaciones.

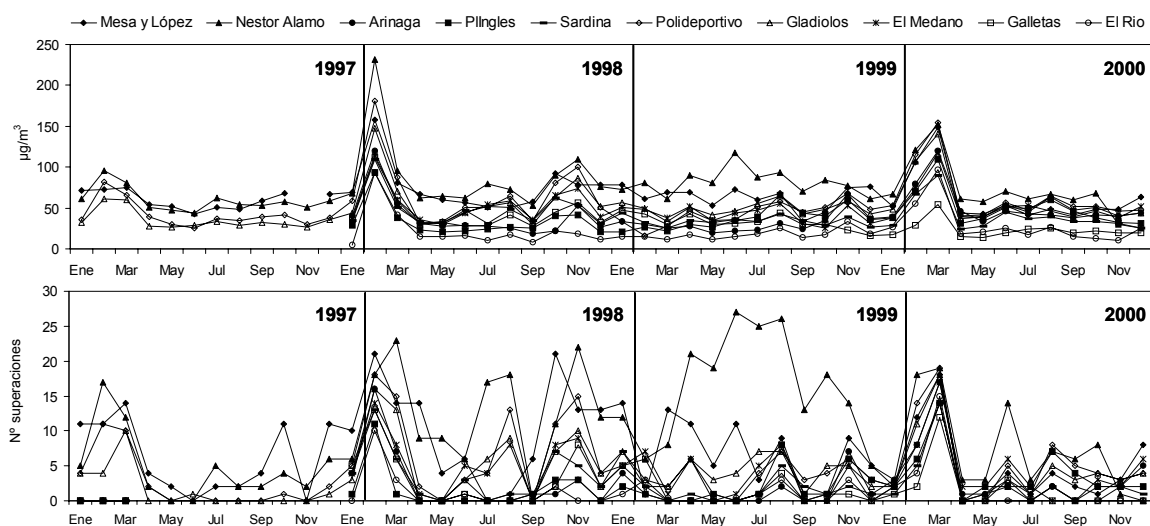


Figura 4.2.4. Variación interanual (1997-2000) de los promedios mensuales de PST y del número de superaciones (n) del valor límite diario establecido por la directiva 1999/30/CE.

4.2.4. Variación estacional

Una vez establecida la homogeneidad de los patrones anuales a lo largo del periodo de estudio, se han representado en la Figura 4.2.5 los promedios mensuales de PM10 y del número de superaciones (n) del valor límite diario. La evolución estacional de los niveles de PM10 presenta una tendencia muy marcada determinada por un fuerte incremento en los meses de Febrero y Marzo, de origen eminentemente natural (dada la simultaneidad de la variación en los registros de PM10 y PST en estaciones muy alejadas). Tras este incremento, los niveles de partículas se mantienen relativamente constantes durante el resto del año, con leves aumentos en los meses de Agosto y Noviembre. Estos máximos relativos poseen también una importante componente natural, aunque se registra también influencia antropogénica. Es importante destacar el elevado grado de paralelismo entre todas las series temporales de niveles de PST, lo cual sugiere unos procesos comunes en el control de los niveles de PST y PM10,

independientemente del tipo de emisiones registradas en las diferentes estaciones (fondo rural, fondo urbano, urbanas o industriales). Como se verá posteriormente, estas tendencias específicas de la Comunidad Canaria están relacionadas en gran medida con aportes de material particulado de origen africano recibidos desde los desiertos del Sahara y Sahel. Las únicas estaciones que se alejan ligeramente del patrón en el segundo trimestre del año son Néstor Álamo y Mesa y López, dado que son las estaciones con mayor grado de contaminación tanto urbano como industrial. Tal como cabía esperar, los niveles medios de material particulado ascienden progresivamente desde la estación rural de El Río hasta las estaciones de Mesa y López y Néstor Álamo.

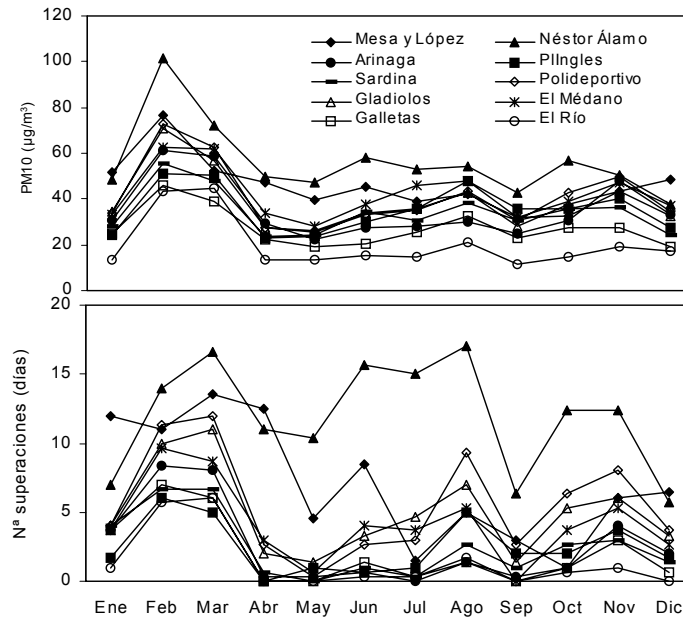


Figura 4.2.5. Evolución estacional de las medias mensuales de PM10 y el número de superaciones del valor límite diario para el periodo 1998-2000.

Por otra parte, la estacionalidad de las superaciones medias del valor límite diario de PM10 para el periodo 1998-2000 presenta un máximo para todas las estaciones entre los meses de Enero y Marzo, como consecuencia de las intrusiones saharianas que afectan a las islas preferentemente durante estos meses. En Octubre y Noviembre se detecta también un incremento del número de superaciones del valor límite diario debido a la misma causa, aunque no se alcanzan los valores de principios de año. La estación de Néstor Álamo destaca por registrar una media de 15 superaciones mensuales en el periodo estival, aunque se debe probablemente a emisiones de carácter antropogénico relacionadas con la presencia de una planta desalinizadora próxima, o a procesos de resuspensión local de partículas.

El estudio de las series de PST en relación con los niveles de NO_x refleja una vez más los efectos de la influencia antropogénica en ciertas estaciones (Figura 4.2.6). A modo de ejemplo, se han seleccionado cuatro estaciones que representan los cuatro tipos de ambientes definidos, durante el periodo 1998-2000. La relación entre las series temporales de niveles diarios de NO_x y PST es un indicativo del origen natural o antropogénico de los máximos de ambos parámetros, que coinciden en el caso de aportes antropogénicos (en especial ligados a la actividad del tráfico) mientras que divergen si el origen de las partículas es mayoritariamente natural. La Figura 4.2.6 muestra una cierta tendencia a incrementar en los niveles de NO_x en todas las estaciones durante otoño e invierno, aunque existen excepciones como Néstor Álamo, que presenta un máximo en verano. Este máximo invernal tiene relación con la menor

dilución de los contaminantes gaseosos consecuencia de la menor intensidad de los vientos Alisios, así como de la menor reactividad de NO_x ligada a la relativamente menor insolación. Es importante destacar que incluso la estación de fondo regional de El Río registra este máximo invernal, de modo que se detecta un cierto transporte de contaminantes desde las zonas urbanas hacia las de fondo regional. Al margen de este incremento en otoño e invierno, las estaciones coinciden en presentar valores mínimos relativos de NO_x entre Abril y Mayo. Por último, y relacionado con el incremento de las actividades turísticas en las capitales insulares en verano, entre los meses de Junio y Agosto es posible apreciar un segundo máximo en los niveles de NO_x en la estación de Mesa y López.

Los niveles de partículas presentan una evolución paralela a la de NO_x en las estaciones bajo influencia de tráfico como Playa del Inglés y Mesa y López, indicando así el origen local del material particulado debido a la resuspensión y emisión directa por parte de los vehículos. En la estación de El Río se detecta un comportamiento similar aunque ligeramente difuminado debido a los procesos de transporte, exceptuando los meses de Febrero y Marzo al encontrarse bajo fuerte influencia de aportes de material particulado africano. En la estación de tipo industrial de Néstor Álamo, por el contrario, ambos parámetros no presentan ninguna tendencia común, debido a que el origen del material particulado en esta estación no se encuentra en el tráfico, sino esencialmente en las contribuciones de la industria.

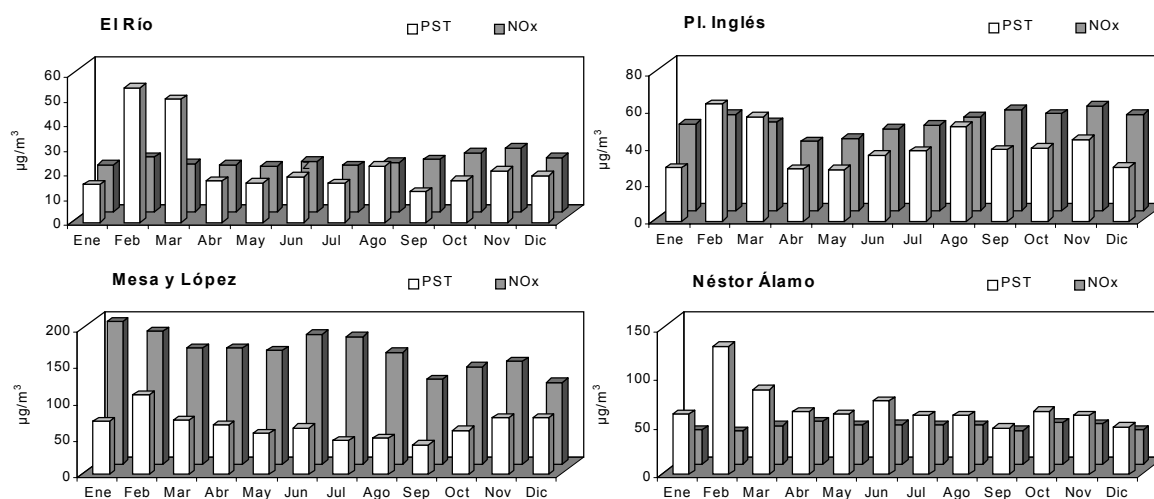


Figura 4.2.6. Promedio de los niveles mensuales de PST y NO_x en cuatro estaciones representativas de los cuatro ambientes definidos en la zona de estudio (fondo regional, fondo urbano, urbano e industrial) durante el periodo 1998-2000.

Con objeto de estudiar la evolución diaria y estacional de los aportes de tipo local de origen antropogénico, en la Figura 7 (izquierda) se ha representado la diferencia entre los niveles medios mensuales de PST obtenidos para el periodo 1998-2000 en diferentes tipos de estaciones y la estación de fondo regional de El Río. A pesar de que la magnitud de las diferencias es variable para las distintas estaciones, se aprecia un factor común en el mes de Marzo constituido por un marcado descenso. Este descenso en paralelo implica que durante este mes los niveles de PST en las cuatro estaciones seleccionadas se aproximan en valores absolutos, y sugiere la existencia de un proceso común que homogeneiza relativamente los niveles de partículas. Este proceso común son las intrusiones de masas de aire africano con alta carga de partículas del mes de Marzo, con elevado impacto en los niveles de material particulado en Canarias. En cuanto a los meses restantes, las diferencias entre estaciones presentan una mayor variabilidad, aunque se observa una cierta tendencia

a incrementar hacia los meses de invierno. La menor dilución invernal de los contaminantes por los vientos Alisios favorecen la acumulación de material particulado en las áreas de emisión, y es así que las diferencias con los niveles en la estación de fondo regional alcanzan valores máximos.

Un ejemplo de la evolución semanal de niveles de PST en Canarias se muestra también en la Figura 4.2.7 (izquierda, Enero de 1998). Se ha seleccionado el mes de Enero de 1998 para este análisis por tratarse de un periodo de relativa estabilidad atmosférica, y en ausencia de importantes aportes de material particulado africano. Los resultados confirman la tendencia esperada, que refleja la acumulación de contaminantes a lo largo de la semana y su descenso durante el fin de semana, en las estaciones bajo influencia antropogénica. En la estación de fondo regional, por el contrario, los niveles de PST permanecen constantes a lo largo de la semana, independientemente de las emisiones antropogénicas. Igualmente se observa una gradación de los niveles de PST desde El Río hasta Mesa y López y Néstor Álamo, en función del grado de influencia antropogénica.

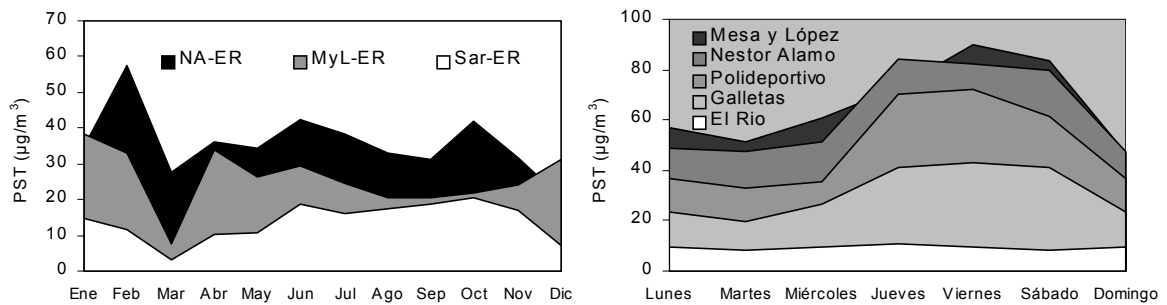


Figura 4.2.7. Izda: Evolución estacional de las diferencias entre los niveles medios mensuales de PST de las estaciones de Néstor Álamo (NA: industrial), Mesa y López (MyL: tráfico intenso), Sardina (Sar: tráfico moderado) y El Río (ER: fondo regional). Dcha: Ejemplo de la evolución semanal de los niveles medios de PST (Enero de 1998).

4.2.5. Áreas fuente: Interpretación de diferentes escenarios de transporte

Una vez analizados los niveles medios de PST característicos de los diferentes tipos de ambientes, así como su variación estacional, se ha realizado una interpretación del origen de las masas de aire que alcanzaron la zona de estudio durante el periodo 1998-2000. Esta interpretación se ha llevado a cabo mediante el estudio de mapas meteorológicos y el cálculo de retrotrayectorias isentrópicas diarias para 5 días con el modelo HYSPLIT, versiones 3 y 4. Las retrotrayectorias se han obtenido para cada día a las 12:00, con cálculos a intervalos de 6 horas. Las alturas de partida de las retrotrayectorias isentrópicas son 500, 1500 y 2500 m sobre la superficie.

Los resultados del análisis de retrotrayectorias para el periodo 1998-2000 se muestran en la Tabla 4. Las áreas fuentes identificadas mediante este análisis se han clasificado en: AN: Atlántico Norte; ANW: Atlántico Noroeste; AW: Atlántico Oeste; ASW; Atlántico Suroeste; NAF: Norte de África; ME: Mediterráneo; EU: Europa (Figura 4.2.8). Como se observa en la Tabla 4, el origen mayoritario de las masas de aire que alcanzan el archipiélago canario es el Atlántico Noroeste (26%), seguido del Norte de África (25%) y del Atlántico Norte (23%), que en total ascienden al 74% de la frecuencia de aportes de masas de aire que anualmente afectan al archipiélago canario, como media de los tres años. Las trayectorias minoritarias corresponden al Atlántico Suroeste (2%), y el resto de áreas fuente se registran entre el 4 y el 12% de los días.

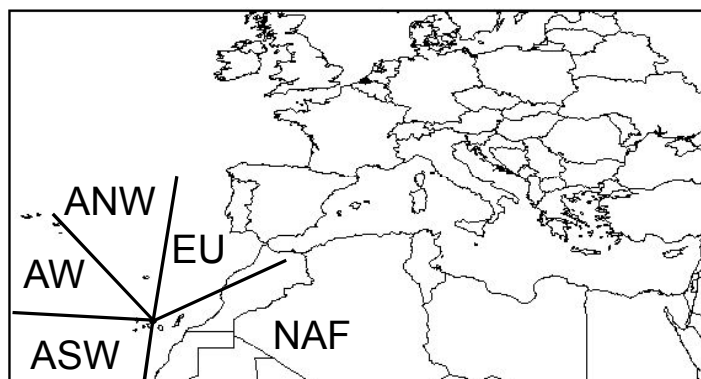


Figura 4.2.8. Sectores de origen de retro-trayectorias distinguidos en la interpretación de las series temporales.

La frecuencia de las trayectorias descritas en la Tabla 4.2.4 posee una relación directa con los sistemas de presiones dominantes en la zona. Como ya ha sido comentado, la meteorología del archipiélago canario se encuentra condicionada principalmente por los efectos de dos sistemas de altas presiones, el anticiclón de las Azores y el del Norte de África, que con sus desplazamientos determinan la circulación y los vientos en la zona. Durante los meses de invierno, tanto a principios como a finales de año, el estudio de retrotrayectorias concluye que las masas de aire que alcanzan a las islas provienen mayoritariamente del Norte de África. El factor que origina este tipo de transporte es la situación de un sistema de altas presiones sobre el Norte del continente africano, que por medio de la circulación anticiclónica dirige las masas de aire en dirección Oeste y por tanto también la carga particulada que transportan. La situación inversa se produce durante los meses de verano, en los que la superficie del continente africano alcanza temperaturas elevadas que generan bajas presiones en superficie sobre el Norte de África (baja térmica sahariana). El anticiclón que dominaba en esta zona en invierno se desplaza entonces en altura (menos de 850 hPa). Ello permite el mayor desarrollo de los vientos Alisios en la zona, que inducen una circulación Norte-Sur en las primeras capas de la atmósfera (Bustos et al., 1998). Es por ello que en los meses de Junio-Septiembre las trayectorias predominantes en las capas bajas atmosféricas (>850 hPa) son de origen Atlántico Norte y Noroeste. En esta época, en las capas altas, el anticiclón desplazado en altura sigue provocando el aporte de masas de aire africanas. Finalmente, las trayectorias mediterráneas y europeas, minoritarias según la Tabla 4, tienen generalmente su origen en el desplazamiento longitudinal de sistemas de altas presiones sobre la Península Ibérica.

Otra característica específica de la zona canaria es la delimitación vertical de la masa atmosférica debido a la presencia constante de una capa de inversión de subsidencia (Cuevas, 1995). En los niveles bajos se delimita así una capa límite marítima (húmeda y relativamente fría) dominada por los vientos Alisios, de componente NE-N. En verano se refuerza la capa de inversión debido a intensificación de la subsidencia, desplazándose a menores altitudes (800 m.s.n.m en verano, y 1500 m.s.n.m. el resto del año) (Rodríguez, 1999; Torres et al., 2001). Esta situación provoca una reducción del espesor de la capa límite marítima. Esta reducción es tal que durante algunos días de verano la estación de El Río puede estar situada por encima de la capa límite. Así, en verano el transporte de las masas del Norte de África se produce por encima de la capa límite de los Alisios, mientras que en invierno, el transporte se produce dentro de la capa límite (Prospero y Carlson, 1981, Chiapello et al., 1995 y 1997, Bustos et al., 1998, Rodríguez, 1999, Rodríguez y Guerra, 2001, Torres et al., 2001).

Además de las variaciones estacionales del origen de las masas de aire y de la estratificación de las capas bajas de la atmósfera, es necesario tener en cuenta

también para el estudio de los procesos atmosféricos en Canarias la marcada estacionalidad de la intensidad de los vientos (Bustos et al., 1998). Así, en otoño e invierno, cuando el anticiclón de las Azores es menos intenso, los sistemas de bajas presiones alcanzan ocasionalmente las Islas Canarias. En primavera, el anticiclón se intensifica, alcanzando su máxima intensidad en verano, lo cual origina que los vientos Alisios se intensifiquen (Font, 1956), y que dominen por tanto las condiciones dispersivas, con máximos en el periodo Junio a Agosto (Figura 4.2.9).

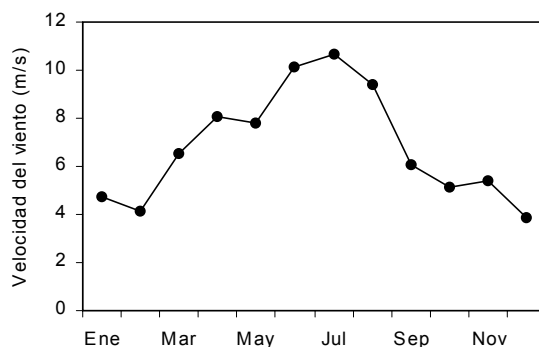


Figura 4.2.9. Velocidad mensual media del viento para 2001 en Las Palmas de Gran Canaria (estación Tafira).

La carga particulada transportada desde cada una de las áreas fuente anteriormente citadas varía en función del grado de contaminación registrado en el punto de muestreo. Los resultados muestran claramente que las masas de aire de trayectorias del Norte de África llevan asociadas las mayores concentraciones de partículas, con una gran diferencia en relación al resto de áreas fuente. Así, para los días con predominio de transporte africano se han registrado niveles medios desde $49 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en El Río hasta $111 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en Néstor Álamo (Tabla 4.2.4). Así, es posible concluir que los mayores aportes de material particulado proceden de los desiertos del Sahara y Sahel. Las masas de aire de origen Atlántico Sudoeste se sitúan en segunda posición en cuanto a carga particulada (valores medios desde $20 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en El Río hasta $92 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en Néstor Álamo para los días con predominio de transporte de masas de aire desde el Atlántico Sudoeste), debido a que este tipo de transporte suele producirse antes y después de los episodios de intrusión de masas de aire africano. Las masas de aire de origen mediterráneo y europeo también presentan niveles de partículas relativamente elevados (dando lugar a medias diarias desde $20 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ hasta $75 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ y desde $24 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ hasta $78 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, respectivamente) siempre en función del tipo de estación, debido a que en su trayecto las masas de aire suelen atravesar en mayor o menor medida la superficie del desierto del Sahara, acumulando de esta manera material particulado natural. Finalmente, las concentraciones de partículas registradas bajo escenarios de transporte atlánticos tanto del Norte, Oeste y Noroeste son las menores (desde $13 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en El Río hasta $64 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en Néstor Álamo), ya que estas trayectorias implican en general largos recorridos sobre la superficie del océano, y al mismo tiempo atraviesan zonas en las que es frecuente la presencia de borrascas. Se trata así de masas de aire que sufren mayores procesos de lavado y reciben menores aportes de material particulado.

Tabla 4.2.4. 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 1998-2000 en una estación central de Gran Canaria. En la parte inferior de la tabla se muestran los niveles medios de PST en cada una de las series seleccionadas para los días de los grupos de patrones de transporte definidos. Las áreas fuentes según el análisis de las retrotrayectorias se han clasificado en: AN: Atlántico Norte; ANW: Atlántico Noroeste; AW: Atlántico Oeste; ASW; Atlántico Suroeste; NAF: Norte de África; ME: Mediterráneo; EU: Europa.

	Áreas fuente						
	AN	ANW	AW	ASW	NAF	ME	EU
Frecuencia mensual media (n de días / año)							
Ene	4	6	5	1	13	0	2
Feb	5	2	2	1	13	1	4
Mar	6	5	3	2	11	1	3
Abr	5	10	10	0	1	2	1
May	9	8	5	0	4	0	4
Jun	5	9	5	1	4	3	3
Jul	14	6	3	0	5	1	3
Ago	10	10	0	0	6	4	2
Sep	7	15	2	0	3	2	1
Oct	8	8	2	0	10	1	3
Nov	7	8	1	1	10	0	3
Dic	3	8	5	0	12	0	3
Total	83	93	44	7	91	14	32
Frecuencia anual media							
	23%	26%	12%	2%	25%	4%	9%
PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) según procedencias							
Polideportivo	39	38	38	59	103	58	52
El Río	14	13	13	20	49	20	24
Gladiolos	37	35	35	52	92	56	49
Galletas	27	25	25	27	55	35	37
Médano	40	37	35	45	81	51	56
Arinaga	20	29	29	61	69	34	41
Sardina	31	30	27	49	66	43	41
Pl.Inglés	30	29	28	48	61	35	41
Néstor Álamo	64	58	60	92	111	75	78
Mesa y López	50	50	56	71	93	57	63

Sin embargo, es necesario considerar que las concentraciones de partículas medias determinadas para las diferentes áreas fuente no son producto exclusivamente del transporte a larga distancia, sino que en la mayoría de los casos predominan la resuspensión y los aportes locales. Es por ello que al considerar cada área fuente de forma independiente la Tabla 4.2.4 muestra una gradación de los niveles de partículas en función del tipo de estación. Así, dado que estaciones como Néstor Álamo o Mesa y López se encuentran bajo fuerte influencia antropogénica, éstas registran niveles superiores que El Río o Galletas, llegando incluso a duplicar los niveles como se observa para las masas de aire de trayectorias norteafricanas (El Río: $49 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$; Néstor Álamo: $111 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$).

4.2.6. Procesos comunes de control de niveles de PST

A través del estudio de niveles de material particulado y contaminantes gaseosos en diferentes estaciones de muestreo en Canarias, ha sido posible definir los niveles de

partículas y las emisiones características de cada uno de los cuatro ambientes seleccionados. Al mismo tiempo, se ha detectado una serie de episodios en los cuales se registran impactos en los niveles de partículas que afectan de forma paralela a diferentes estaciones. Se deduce así la existencia de ciertos procesos comunes de control de los niveles de PST, tanto de origen antropogénico como natural. Estos procesos son principalmente dos:

1. Aportes locales de tipo antropogénico
2. Intrusiones africanas

4.2.6.1. Aportes locales de tipo antropogénico

Los episodios de tipo antropogénico suelen ser de origen predominantemente local, y afectan a las estaciones con mayor influencia antropogénica directa (en general, Néstor Álamo y Mesa y López). Como muestra la Figura 4.2.10, este tipo de episodio se desarrolla bajo un escenario meteorológico dominado por sistemas de altas presiones y caracterizado por un débil gradiente barométrico horizontal en superficie. Bajo este contexto, la dispersión de contaminantes emitidos se ve limitada por las altas presiones, de modo que éstos se acumulan en torno a las fuentes de emisión. Como resultado, en las series temporales de niveles de partículas se aprecian ciclos semanales, con incrementos durante la semana laboral y valores mínimos correspondientes a los fines de semana (menor intensidad de tráfico). Estos ciclos se registran simultáneamente en las principales estaciones con influencia de tráfico (Mesa y López y Néstor Álamo), mientras no se aperciben en las estaciones de fondo regional y aquellas con menor influencia de tráfico. Los valores de TSP registrados en las diferentes estaciones durante estos episodios semanales muestran una gradación desde las estaciones con mayor grado de contaminación antropogénica hasta las estaciones de fondo regional como El Río. A diferencia de las series temporales estudiadas en zonas con mayor grado de contaminación de tipo antropogénico (por ejemplo, País Vasco, Madrid y Cataluña), y dada la mayor dispersión de contaminantes por el Alisio en Canarias, los ciclos semanales de tráfico en las Islas Canarias son poco marcados excepto en las estaciones de mayor tráfico. Así, a pesar de clasificar estaciones como Sardina o El Médano como urbanas, la influencia del tráfico en estos puntos es reducida, y por tanto en estas estaciones las diferencias entre los niveles de partículas durante la semana y el fin de semana no son tan acusadas como en las capitales. Es por ello que la identificación de este tipo de ciclos se realiza observando principalmente las estaciones de Mesa y López y Néstor Álamo.

4.2.6.2. Intrusiones africanas

Uno de los rasgos más característicos de las Islas Canarias es su proximidad a la costa Oeste africana, que tiene como resultado una elevada influencia del material particulado natural originado en los desiertos del Sahara y Sahel, dando lugar a los conocidos episodios de “calima”. Debido a la importancia de estos episodios de intrusión sobre los niveles de partículas en el archipiélago canario, en este apartado se discute detalladamente su frecuencia y orígenes, así como su impacto sobre los niveles de PST.

La meteorología del archipiélago canario está condicionada principalmente por la influencia de dos sistemas de altas presiones: los anticiclones de las Azores y del Norte de África. Durante el otoño e invierno, es frecuente la ubicación del anticiclón norteafricano sobre la superficie continental del Norte de África, induciendo el transporte en dirección Oeste de masas de aire africano, con una posible carga de material particulado mineral. Durante el verano, por el contrario, el calentamiento de la superficie del Norte de África da lugar a la formación de la baja térmica sahariana. Así,

el anticiclón que dominaba en esta zona en invierno se desplaza en altura y no se hace visible en los mapas de isobaras hasta el nivel de 850hPa (~1500 m.s.n.m.) (Rodríguez, 1999; Torres et al., 2001). Además, durante el periodo estival el anticiclón de las Azores se intensifica y desplaza hacia el Norte, acrecentando la intensidad de los vientos Alisios (dirección NNE) y dando como resultado que las trayectorias predominantes en la parte baja de la atmósfera (>850 hPa), entre Junio y Septiembre, procedan del Atlántico Norte.

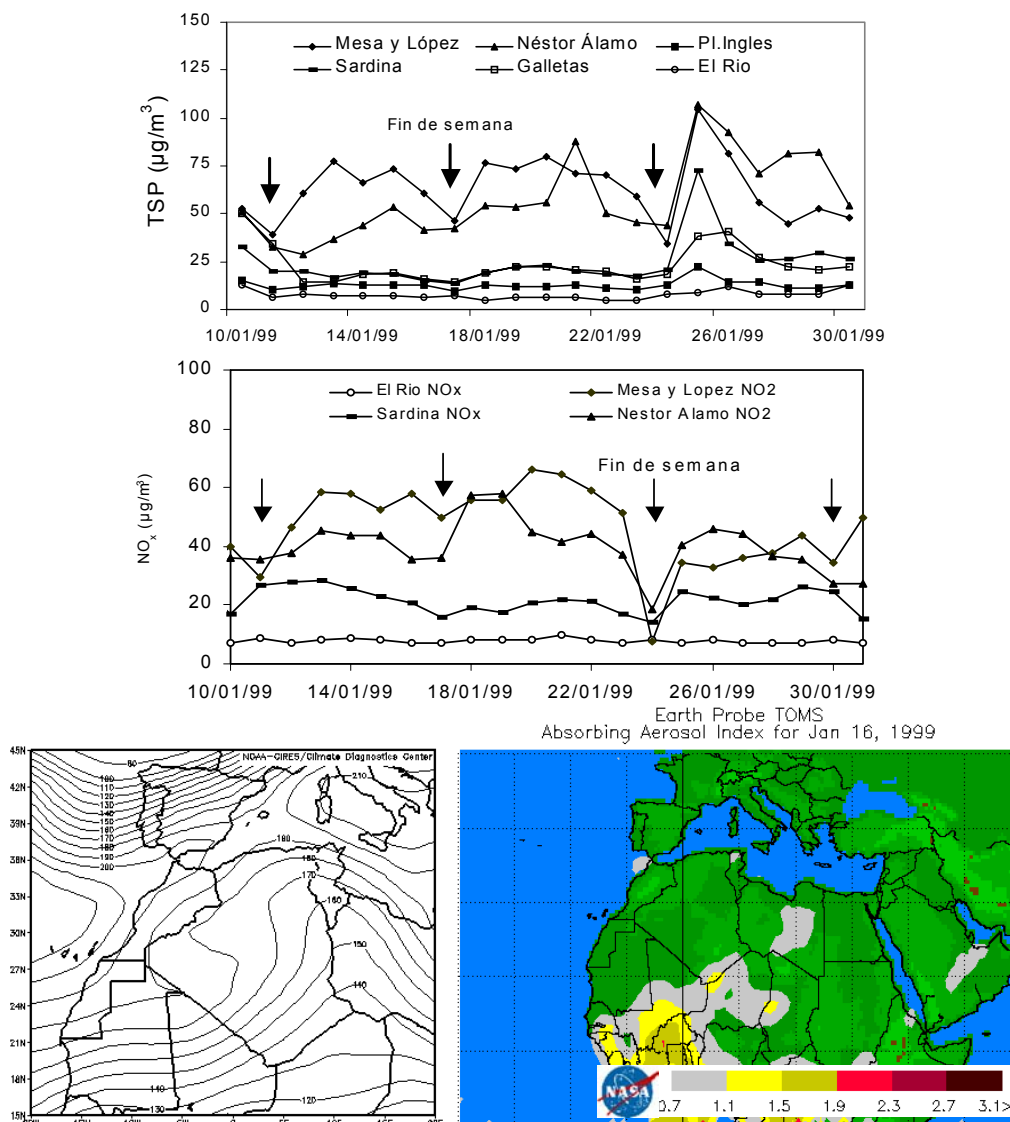


Figura 4.2.10. Episodio de contaminación de tipo antropogénico originado por un bloqueo anticiclónico, entre el 10-20/01/99. Se observan ciclos semanales en las series temporales de niveles de PST y contaminantes gaseosos (NO_x). Mapa NCEP de isobaras para el nivel de 1000 mb. Mapa de índice de aerosoles TOMS, indicando la ausencia de aportes africanos a la zona de estudio.

La combinación del análisis de los mapas de índices de aerosoles TOMS, imágenes SeaWiFS y cálculo de retrotrayectorias ha permitido demostrar la existencia de un elevado grado de influencia del material particulado africano en las series temporales canarias de material particulado. El área fuente de las partículas puede ser tanto el desierto del Sahara como del Sahel, en función de la estación del año. En los numerosos episodios de intrusión de masas de aire africano detectados, los niveles alcanzados en las diferentes estaciones urbanas con influencia antropogénica son en

términos absolutos muy similares a los de las estaciones de fondo urbano y regional, debido al aporte mayoritariamente externo de las partículas. Los niveles de PM10 y PST registrados en estos episodios son frecuentemente hasta un orden de magnitud superiores a los registrados bajo episodios de contaminación antropogénica ocurridos en áreas urbanas. Dada la frecuencia de estos episodios y la elevada carga particulada asociada, los registros de niveles de PM10 y PST se encuentran altamente influenciados por este tipo de aportes.

Los resultados de la interpretación de las series temporales de PM10 y PST entre 1998 y 2000 han permitido identificar tres situaciones típicas de intrusión de masas de aire africano que se repiten con regularidad a través de los años. Se trata de episodios de aporte de material particulado africano de frecuencia y duración específicas, que poseen una marcada estacionalidad en función de la meteorología de la zona.

a. Intrusiones africanas de finales de invierno (Enero-Marzo)

Estos episodios son los más destacados debido a su gran intensidad (hasta 800 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ de media diaria), y son detectados por todas las herramientas antes mencionadas. La frecuencia anual es de 2 a 7 episodios por año con una duración desde 2 a 22 días. Su importancia es tal que en Febrero y Marzo del año 2000 se registró una media de 25 superaciones de los valores límite diarios para PM10 debido a este tipo de episodios. Un ejemplo muy evidente de esta situación se registró entre el 26/02 y el 18/03/00 (Figura 4.2.11).

La situación meteorológica que domina en este tipo de intrusiones se caracteriza por la presencia de un centro de altas presiones sobre el Norte del África, que puede oscilar longitudinalmente y llegar a situarse desde la costa atlántica hasta las proximidades del mar Mediterráneo o sobre la Península Ibérica (Figura 4.2.11). Durante este periodo se detecta una franja de elevada temperatura superficial sobre el desierto del Sahel (véase apartado referente al País Vasco), en la que se producen importantes procesos convectivos que inyectan grandes cantidades de material particulado en la capa de mezcla. Este material es entonces transportado hacia el archipiélago canario trazando un arco sobre el Atlántico debido a la influencia del anticiclón del Norte de África, incrementando notablemente los niveles de partículas. Es así que la mayor inyección de polvo se produce a la altura del desierto del Sahel, aunque es posible que se produzca también transporte de material particulado desde el desierto del Sahara debido a la proximidad a las islas. En la mayoría de los casos, como en el caso expuesto para Febrero-Marzo de 2000, la mayor parte de la capa límite marina se ve afectada por la intrusión y las imágenes SeaWiFS y los mapas TOMS detectan claramente el episodio (Figura 4.2.11). Sin embargo, existen otras situaciones en las que la masa de partículas viaja a menor altitud (500-1000 m) y afecta únicamente a las capas más bajas de la atmósfera. En estos casos los mapas TOMS no detectan el transporte de polvo (Torres et al., 1998 y 2002), y solamente el cálculo de retrotrayectorias y las imágenes SeaWiFS permiten demostrar el origen africano del episodio. Un ejemplo de este tipo de episodio se produjo en Febrero de 2001 (Figura 4.2.12), y la "sombra" que se aprecia en la nube de polvo tras su paso por las islas demuestra la escasa altura a la que ésta se desplazó.

Ocasionalmente, se han observado episodios de intrusión invernales causados por borrascas situadas al sudoeste del archipiélago, aunque este tipo de episodio es más frecuente a principios de invierno.

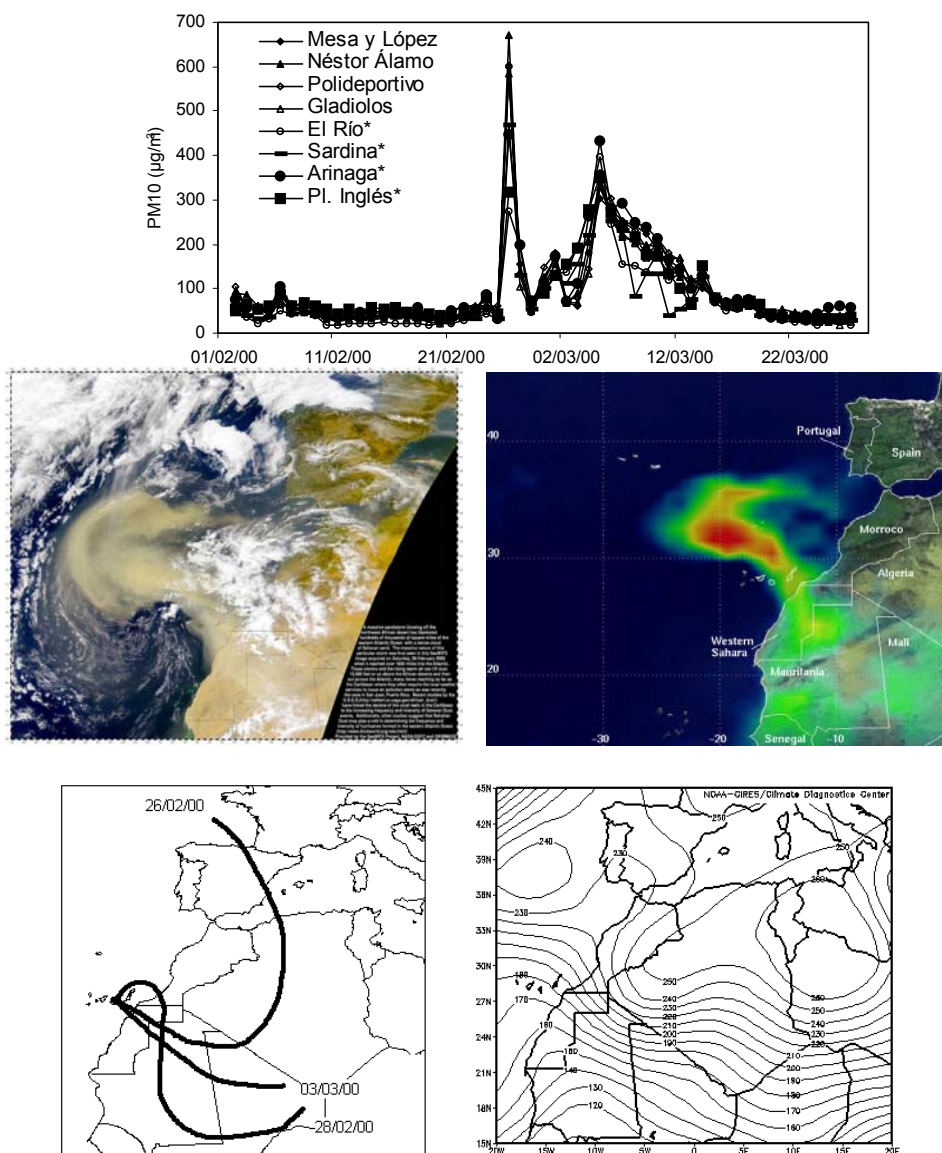


Figura 4.2.11. Intrusión de masas de aire africano con gran impacto en las series de PST y PM10 canarias (* PST). Series temporales de PM10 y PST de estaciones canarias mostrando niveles muy elevados de partículas entre el periodo 26/02-18/03/00. Nótese que durante 22 días seguidos se supera el nivel límite diario de PM10 de la Directiva 1999/30/CE. Imagen satélite SeaWIFS (NASA) y mapa de índice de aerosoles TOMS (NASA) para el 26/02/00, mostrando una potente masa de aire africano con altos niveles de material particulado. Cálculo de retro trayectorias entre el 26/02-06/03/00, y mapa de isobaras para el día 26/02/00 mostrando la altitud del nivel de 1000 mb.

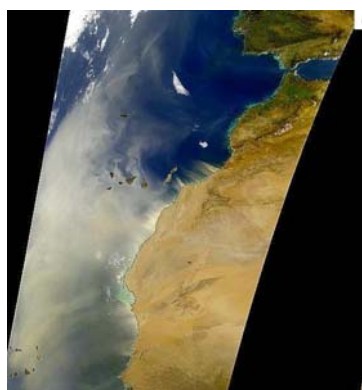


Figura 4.2.12. Imagen satélite SeaWIFS para el día 14/02/01, donde se aprecia el transporte a baja altitud de la masa particulada. Nótese la "sombra" producida por las islas en la nube de partículas.

b. Intrusiones africanas de verano (Junio-Agosto)

La Figura 4.2.13 refleja un ejemplo de las intrusiones de masas de aire africano de verano con elevada carga de material particulado. Se suelen producir durante los meses de Junio a Agosto, y se reflejan en las series temporales de niveles de PST o PM10 como ligeros aumentos prolongados de los niveles de fondo, como se aprecia en el mes de Junio de 2000 (Figura 4.2.14). Se observa que tanto las estaciones de fondo como las urbanas e industriales presentan un comportamiento similar, incrementando sus valores una media de 10-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante periodos de 15-30 días, siendo dicho incremento especialmente marcado en las estaciones de fondo. Este tipo de intrusión se diferencia así de las de otoño e invierno por ser de menor intensidad ($<75 \mu\text{gPM10}/\text{m}^3$) y frecuencia (1 a 4 episodios por año) pero de mayor duración (1 a 3 semanas).

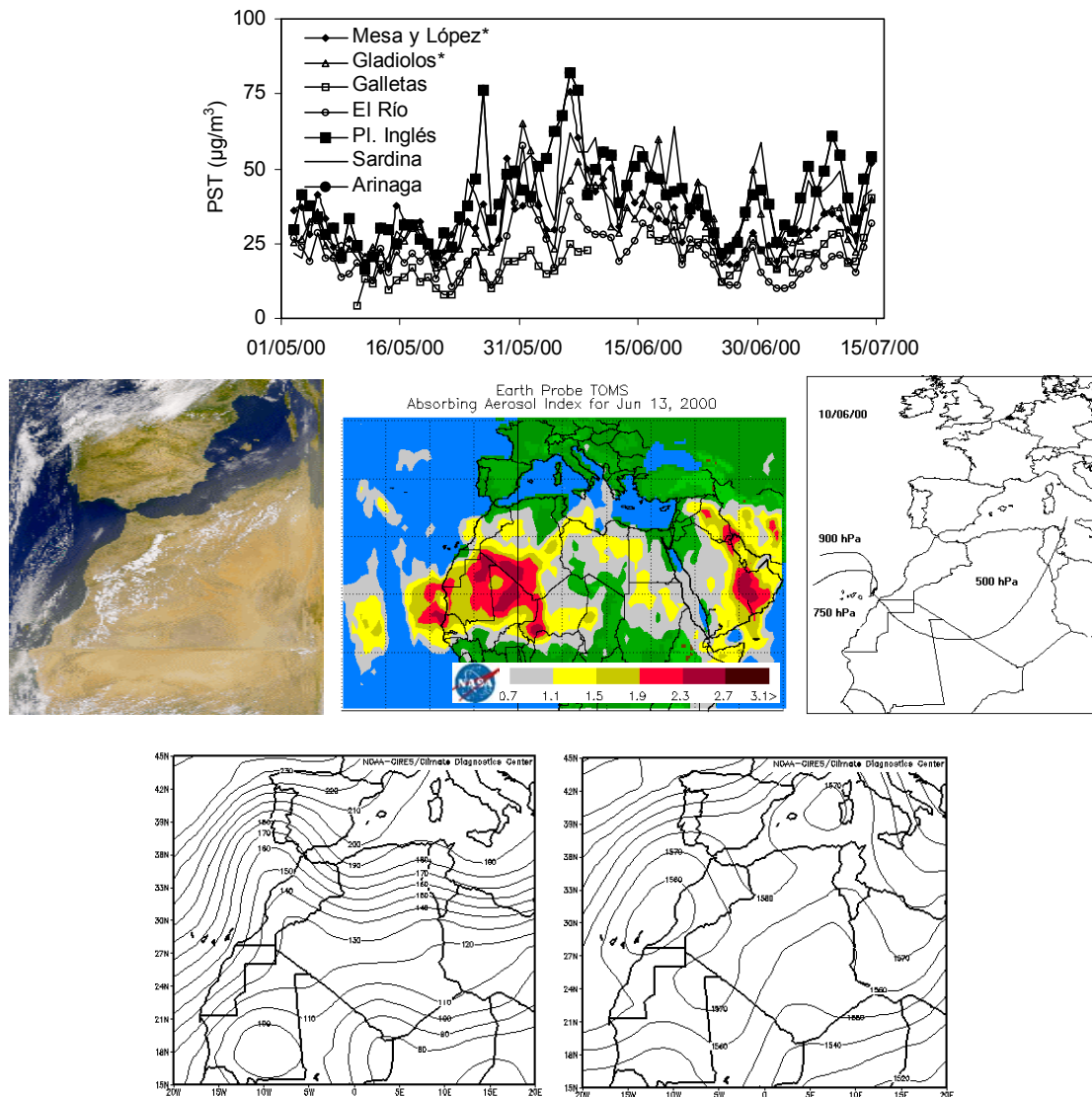


Figura 4.2.13. Incremento de los niveles de fondo en el mes de Junio como consecuencia de una intrusión difusa en las Islas Canarias. Cálculo de retro trayectorias para el día 10/07/00. Imagen satélite SeaWIFS (NASA) y mapa de índice de aerosoles TOMS (NASA) para el 13/06/00, mostrando el transporte de material particulado en la denominada Capa de Aire del Sahara ($> 1500 \text{ m}$). Estudio de retro trayectorias para el día 10/06/00, las trayectorias a 500 y 1000 m provienen del océano, mientras que a $>1500 \text{ m}$ las masas de aire tienen su origen en el desierto. Mapas de isobaras para el día 13/06/00 representando los niveles de 1000 mb (izquierda) y 850 mb (derecha), que indican la ubicación del anticiclón en altura y situación de baja térmica en superficie.

En estos periodos los patrones meteorológicos del Norte de Africa están regidos por la baja térmica sahariana que impide el asentamiento del anticiclón norteafricano en superficie (Figura 4.2.13), que es sólo observable a menos de 850 hPa (a alturas >1500 m). El cálculo de retrotrayectorias en superficie muestra regiones fuente muy variadas, sin evidenciar aportes saharianos directos. Sin embargo, a mayor altura (>1500 m) las retrotrayectorias muestran un origen predominantemente africano (Figura 4.2.13). Debido a los importantes procesos convectivos que tienen lugar en esta zona durante el verano, se genera una capa semi-permanente de polvo que algunos autores han denominado Capa de Aire del Sahara (Próspero y Carlson, 1981). Las imágenes TOMS y SeaWIFS muestran claramente la magnitud de esta capa (Figura 4.2.13). El transporte continuo de esta masa de polvo en altura lleva asociado, si las condiciones de la capa límite lo permiten, un ligero transporte vertical del polvo que afecta a las capas inferiores de forma uniforme y continuada. Como resultado de este transporte vertical se registran los anteriormente descritos incrementos ligeros de niveles de PST y PM10 durante largos periodos de tiempo en todas las estaciones.

c. Transporte de polvo africano de otoño-principios de invierno (Noviembre-Diciembre)

La Figura 4.2.14 muestra el último ejemplo de transporte de masas de aire africano registrado en la Comunidad Canaria. Se trata de un tipo de transporte muy frecuente en otoño y comienzo de invierno, típica del mes de Noviembre y en ocasiones de Diciembre, que se produce en general de 2 a 4 veces por año, a muy baja altura y durante periodos cortos de tiempo (2 a 5 días). En estos periodos, las series temporales de PST y PM10 suelen presentar dos máximos muy pronunciados en los que todas las estaciones registran valores elevados (400-500 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) y similares en términos absolutos, aunque menores que los alcanzados en Febrero o Marzo.

La situación meteorológica que da origen a estos episodios es muy similar a la descrita para las intrusiones de finales de invierno, ya que se encuentra dominada por la presencia de un centro de altas presiones sobre el Norte África (Figura 4.2.14). Sin embargo, durante estos meses no se produce inyección significativa de polvo en la atmósfera sobre el desierto del Sahel, y por ello el material particulado que alcanza las islas es esencialmente de origen sahariano. En estos casos, el aporte de partículas se produce en forma de resuspensión casi local como consecuencia directa de la proximidad del continente africano en conjunción con la circulación atmosférica anticiclónica. Así, este tipo de transporte se produce a muy baja altura como demuestra el cálculo de retrotrayectorias de la Figura 4.2.14, en el que se aprecia el origen africano de las masas de aire a 1000 y 1500 m de altura (850 y 900 hPa respectivamente), mientras que a 2500 m (750 hPa) éste es oceánico. Por tanto al igual que ocurre en las intrusiones de aire africano bajas descritas para Febrero-Marzo, los mapas TOMS no evidencian la masa de partículas (Figura 4.2.14). Por el contrario, la imagen SeaWIFS capta con claridad la nube de polvo situada sobre las islas.

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

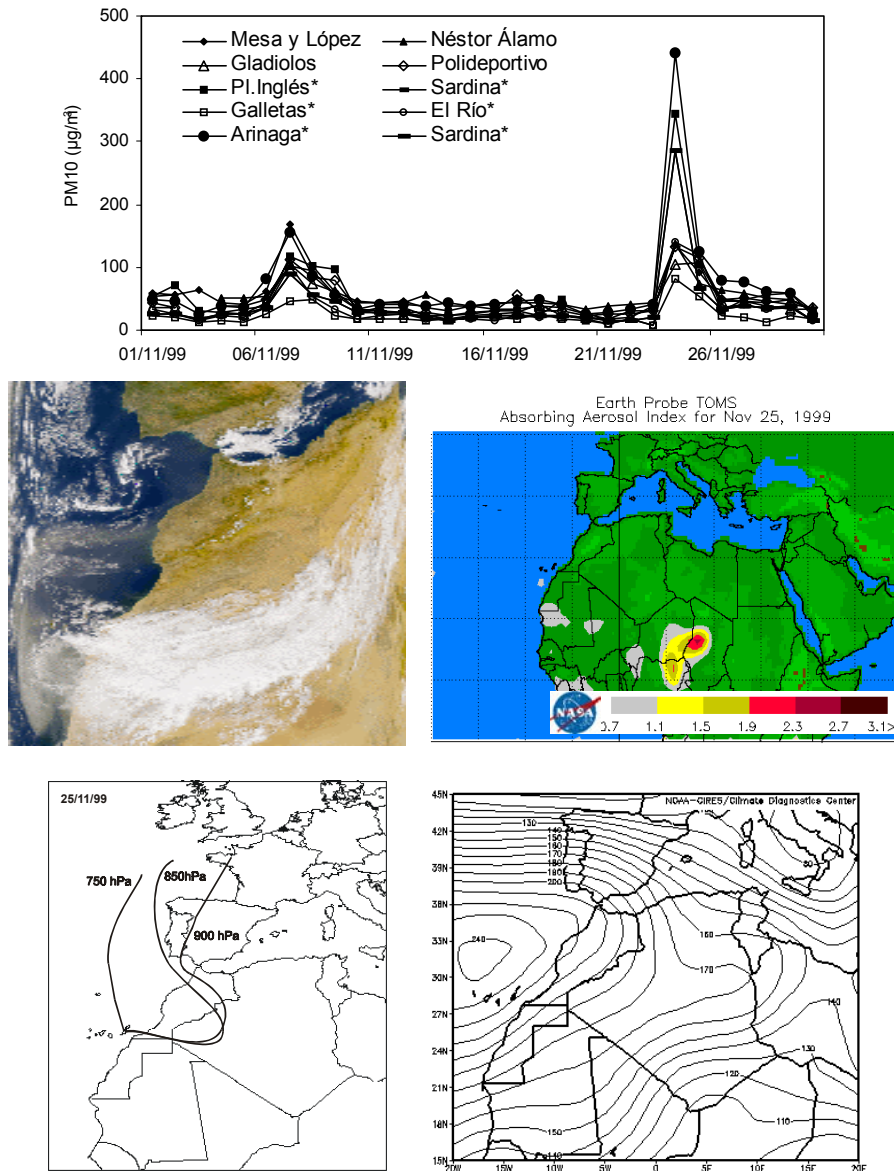


Figura 4.2.14. Niveles de PST y PM10 durante un episodio de intrusión africana de principios de invierno registrada en Noviembre de 1999. Imagen satélite SeaWiFS (NASA) y mapa de índice de aerosoles TOMS (NASA) para el 25/11/99, mostrando el transporte puntual de material particulado hacia Canarias. Estudio de retro trayectorias para el día 24/11/99, en el que las trayectorias a 1000 y 1500 m (900 y 850 hPa) provienen del desierto, mientras que a 2500 m (750 hPa) las masas de aire tienen su origen en el océano. Mapas de isobaras para el día 25/11/99 representando el nivel de 1000 mb.

4.2.7. Episodios de partículas

Alcanzado este punto de la interpretación se ha logrado definir los diferentes tipos de procesos tanto naturales como de origen antropogénico con influencia en los niveles de material particulado. A partir de aquí, se ha realizado un análisis estadístico de los episodios de varios días de duración con elevadas concentraciones medias diarias de PST detectados durante el periodo 1998-2000.

La Tabla 4.2.5 muestra los resultados de la interpretación del origen de episodios con niveles elevados de PST registrados simultáneamente en todas las estaciones durante varios días. Durante el periodo 1998-2000 se detectó una media de 32 episodios

anuales de este tipo, de los cuales 27 superaron el valor límite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PST como media para todas las estaciones, y 12 el de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PST. La duración media de estos episodios fue de 3.5 días, y se repartieron de forma homogénea a lo largo del año, sin presentar tendencias estacionales en la suma total. Por el contrario, al analizar la asignación de orígenes se observa claramente la existencia de patrones en los episodios africanos y antropogénicos, que coinciden en presentar valores mínimos en verano.

Tabla 4.2.5. Análisis estadístico para el periodo 1998-2000 de episodios de varios días de duración (media 3.5 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. Se especifican aquellos episodios con origen africano (Norte de África: NAF; Norte de África Verano: NAFV), no africano (ANT) y antropogénico+africano (N-A). n: número de episodios.

	n total	n > 50 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$				n > 70 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$			
		NAF	N-A	ANT	NAFV	NAF	N-A	ANT	NAFV
Ene-Mar	9	5	1	3	0	5	0	0	0
Abr-Jun	8	2	0	4	0	1	0	1	0
Jul-Sep	7	2	2	0	1	1	0	0	0
Oct-Dic	8	4	0	3	0	3	0	1	0
TOTAL	32	13	3	10	1	10	0	2	0

Las intrusiones africanas se registran mayoritariamente en el primer y último trimestre del año, llegando a duplicar los valores medios de las concentraciones de partículas de los dos trimestres intermedios. Los episodios de intrusión de verano no aparecen reflejados en la Tabla 4.2.5 debido a que habitualmente no superan la media de $50 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$. Los episodios de origen antropogénico, por otra parte, no presentan ningún rasgo estacional marcado más que el mínimo estival.

Estas tendencias se observan tanto para los episodios de concentración $>50 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ como aquellos $>70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, pero es necesario destacar el predominio de episodios de origen africano en este segundo grupo. Al igual que se registra una media de 10 episodios antropogénicos frente a 13 africanos de concentración $>50 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, si se consideran concentraciones de PST más elevadas el número de episodios antropogénicos desciende a 2 frente a 10 africanos. Esta diferencia indica que los episodios clasificados como intrusiones africanas transportan concentraciones muy elevadas de partículas, y por tanto constituyen un fenómeno de importancia a evaluar en el estudio de los niveles de partículas en el archipiélago canario.

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

Dado que la directiva 1999/30/CE contempla la exclusión de las superaciones del valor límite diario de PM10 de origen natural del cómputo total en su aplicación, la interpretación del origen de cada una de las superaciones es de suma importancia a la hora de evaluar el grado de cumplimiento de los requisitos de la citada Norma. Para la realización de este análisis se han seleccionado cinco estaciones (Néstor Álamo, Mesa y López, El Médano, Playa del Inglés y El Río) que representan los diferentes tipos de ambiente estudiados.

Los análisis e interpretaciones descritos en las secciones anteriores concluyen en los resultados que se muestran en la Tabla 4.2.6 y la Figura 4.2.15. En ellas aparece reflejada la asignación de un origen natural o antropogénico a las superaciones del valor límite diario de la directiva 1999/30/CE, así como su distribución estacional a lo largo del año. La media de superaciones anuales del límite diario de PM10 de la

directiva ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oscila entre 17 (El Río) y 144 (Néstor Álamo) en función de las estaciones, con un máximo de 87 y un mínimo de 4 para superaciones antropogénicas y un máximo de 57 y un mínimo de 13 para superaciones africanas. Se concluye así que en las estaciones urbanas el factor antropogénico es causante del mayor número de superaciones, mientras que en las estaciones de fondo existe un número de superaciones de origen natural que puede ser crucial a la hora de cumplir los requerimientos de la directiva (máximo de 35 superaciones en el año 2005, y máximo de 7 en 2010). Es necesario considerar que la categoría de superaciones no africanas incluye no sólo las causadas por aportes antropogénicos locales, sino también por otros aportes naturales (resuspensión) y antropogénicos externos (transporte a larga distancia).

La distribución estacional de las superaciones aparece reflejada en la Figura 4.2.15, y presenta características muy diferentes en función del carácter natural o antropogénico de las mismas. Los episodios atribuibles a aportes africanos se registran a principios y finales de año (Febrero-Marzo y Octubre-Noviembre) de forma constante a lo largo de los tres años y en todas las estaciones, indicando una tendencia marcada que encuentra su explicación en la meteorología de la zona. La incidencia de estos episodios es más acentuada en las estaciones con alta influencia antropogénica según refleja la Tabla 4.2.6, aunque este hecho es debido a que en estos puntos se produce la suma de aportes de material particulado natural y antropogénico. De esta manera, a pesar de que las intrusiones africanas afectan por término general a todas las estaciones por igual, la ausencia de otro tipo de aportes en las estaciones rurales y con menor influencia de tráfico evita que los niveles sobrepasen el límite establecido por la directiva 1999/30/CE, y por tanto reflejan un número menor de superaciones medias.

Al contrario que las superaciones de origen africano, en los episodios atribuidos a aportes antropogénicos no se detecta una tendencia estacional clara para todas las estaciones. Aquellas con fuerte influencia antropogénica y en especial de tipo industrial, como Néstor Álamo, presentan una distribución con un máximo estival y mínimos a principios y finales de año. Dado que esta estación se encuentra bajo la influencia de las emisiones de una planta desalinizadora y una central térmica, es posible justificar este incremento en los niveles como consecuencia del aumento de la demanda de agua y energética en el periodo estival, o por procesos de resuspensión local de partículas. En la estación de El Médano, también ubicada en las proximidades de una central térmica, se identifica un máximo en verano aunque de forma paralela aparecen máximos en invierno.

Las estaciones de Mesa y López y Playa del Inglés, al reflejar un tipo de actividad más urbana y ligada a las emisiones del tráfico, presentan máximos en invierno y mínimos estivales, aunque esta tendencia no se observa de forma tan evidente como en los casos anteriores. Por último, la estación de El Río, al tratarse de una estación rural, presenta un número mínimo de superaciones con carácter antropogénico (4) distribuidas de forma heterogénea a lo largo del año.

Tras el estudio de los resultados obtenidos en el análisis de los aportes naturales y antropogénicos registrados en Canarias durante el periodo 1998-2000 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 $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ es superior al permitido para 2010 ($n=7$, véase Tabla 6).

Tabla 4.2.6. 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 ($70 \mu\text{gTSP}/\text{m}^3$, equivalente a $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) durante el periodo 1998-2000. Se ha diferenciado entre patrones africanos (Afr.) y no africanos (No Afr.).

	Néstor Álamo		Mesa y López		El Médano		Pl. del Inglés		El Río	
	No-Afr	Afr	No-Afr	Afr	No-Afr	Afr	No-Afr	Afr	No-Afr	Afr
Ene	3	4	7	5	0	3	0	2	0	1
Feb	4	10	5	6	4	6	2	4	2	3
Mar	7	10	9	5	3	5	1	4	1	5
Abr	10	1	11	2	2	1	0	0	0	0
May	7	4	3	2	0	0	1	0	0	0
Jun	13	3	7	2	3	1	1	0	0	0
Jul	13	2	2	0	3	1	0	1	0	0
Ago	13	4	2	3	4	2	2	3	0	1
Sep	5	2	3	0	0	0	2	0	0	0
Oct	6	6	0	1	1	3	0	2	0	1
Nov	5	7	0	6	2	3	1	3	0	1
Dic	2	4	3	4	1	2	0	2	0	0
Total	87	57	51	35	23	27	10	20	4	13

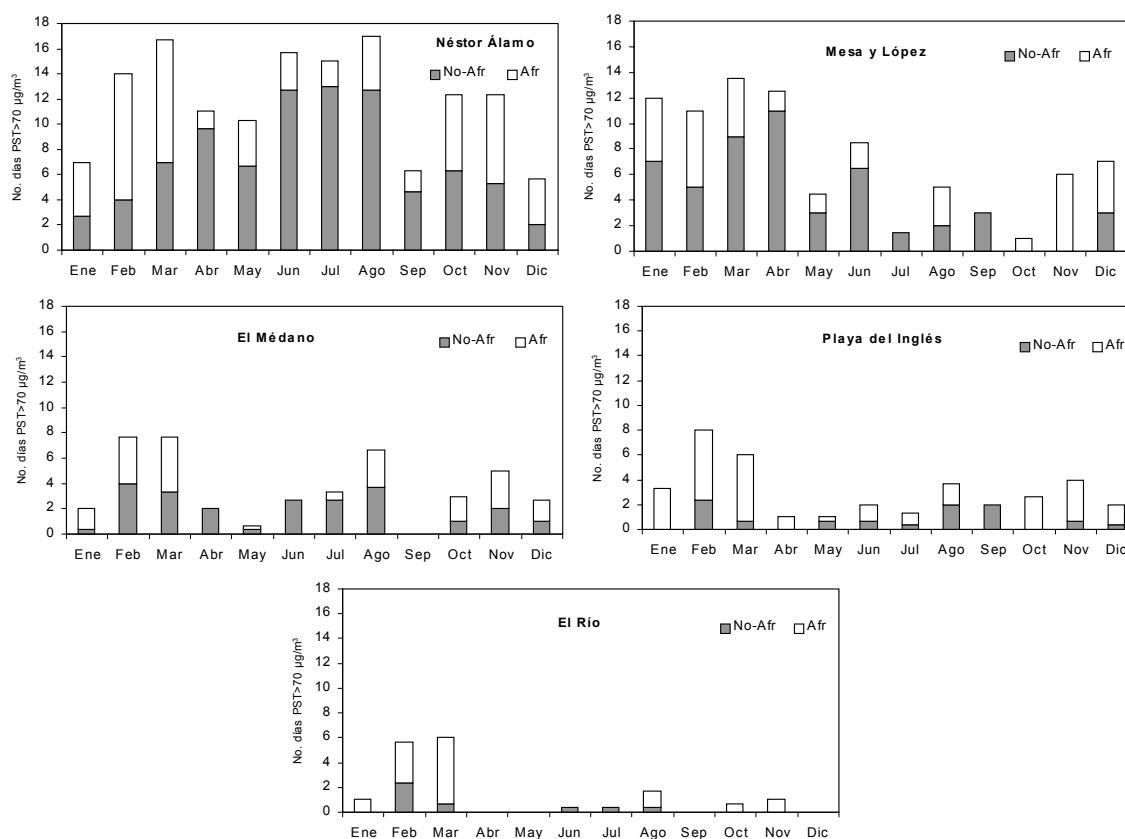


Figura 4.2.15. Distribución estacional de las superaciones del equivalente teórico al nivel límite diario de la directiva europea de calidad del aire ($70 \mu\text{gTSP}/\text{m}^3$, equivalente a $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) durante el periodo 1998-2000, con la interpretación de los patrones de transporte. Se ha diferenciado entre patrones africanos (Afr.) y no africanos (No Afr.).

Sin embargo, es necesario considerar la gran influencia que ejercen los aportes de material particulado africano sobre los niveles de partículas en el archipiélago canario,

que constituyen aproximadamente el 65-75 % de las superaciones en las estaciones de fondo urbano y regional, el 50% en las estaciones de tráfico y un 40% en las estaciones de tráfico intenso e industriales. De esta manera, al descontar las superaciones atribuibles a aportes africanos del cómputo total, la estación de El Río (n=4) cumpliría los requisitos establecidos para 2010, y Pl. Inglés (n=10) rebasaría sólo ligeramente el número de superaciones permitidas en el año 2010. En el resto de estaciones estudiadas (n antropogénicas = 23-87) se excedería ampliamente el número de superaciones permitidas para el año 2010, aunque en términos absolutos este número sufre una drástica reducción respecto al cómputo total de las superaciones (n=50-144). En cuanto a los requisitos establecidos para el año 2005 (n<35), éstos serían cumplidos por las estaciones de El Médano, Pl. Inglés y El Río siempre que se descontaran las superaciones de origen natural. Por el contrario, Néstor Álamo y Mesa y López incumplirían los requisitos de superación del valor límite diario, incluso descartando las superaciones no antropogénicas.