

4.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES:

Series temporales de niveles de PST y PM10 (1996-2000)

4.4.1. Niveles de PST y PM10

El principal objetivo de este capítulo ha sido la interpretación de la variabilidad temporal y espacial de los niveles de material particulado atmosférico en las tres zonas seleccionadas (País Vasco, Canarias y el sector mediterráneo), con especial énfasis en la interpretación del origen de los episodios con registros elevados de PST y PM10.

Para ello, los estudios de series temporales de niveles de PST y PM10 se han realizado para el periodo 1996-2000 en el País Vasco y el sector mediterráneo, y para 1998-2000 en Canarias. En el País Vasco y el sector mediterráneo el parámetro de medida dominante fueron para este periodo las Partículas en Suspensión Totales (PST), aunque en las estaciones rurales se utilizó la medida de PM10 para todo el periodo. Por el contrario, en Canarias desde 1998 hasta Julio de 1999 se midió PST en todas las estaciones, pero a partir de esta fecha en cuatro estaciones se sustituyeron los equipos para comenzar a medir PM10. Con el objetivo de lograr comparar los niveles de partículas obtenidos en las diferentes áreas de estudio durante los distintos años, se ha aplicado a los resultados diferentes ratios de PM10/PST y se han expresado en forma de PM10. En el País Vasco y el sector mediterráneo se ha utilizado el factor $PST/PM10=1.2$ propuesto por la directiva 1999/30/CE dado que la granulometría del material particulado puede asemejarse más a los valores obtenidos en estudios europeos (Putaud, 2002). Sin embargo, estudios realizados en Canarias (Querol et al., 2003a) han demostrado que el porcentaje de materia mineral en esta zona es más elevado que en la Península Ibérica. Dicha materia mineral presenta una granulometría más gruesa que las partículas de origen antropogénico predominantes en el entorno peninsular, y es por ello que en Canarias existe una mayor proporción de partículas de diámetro $>10\mu m$. Consecuentemente, en Canarias se ha aplicado un factor $PST/PM10=1.4$ para la conversión de los valores de PST a PM10.

Las estaciones de medida en las tres zonas de estudio pueden ser clasificadas en cuatro categorías:

FONDO RURAL: estaciones como Valderejo, El Río, Monagrega, Coratxar y Morella, ubicadas en entornos rurales y alejadas de la influencia directa de focos de emisión de material particulado y contaminantes gaseosos (NO_x , SO_2 entre otros) de origen antropogénico. Es necesario destacar que ello no implica su total aislamiento de este tipo de emisiones (como es el caso de Monagrega y Coratxar).

FONDO URBANO: estaciones como Llodio, Galletas, Playa del Inglés, Arinaga, Fornells y Penyeta, que se localizan en núcleos urbanos de pequeño tamaño y por tanto registran un cierto grado de influencia de las emisiones ligadas al tráfico. En el caso de Llodio se registra también influencia industrial. Es importante destacar que las estaciones de Penyeta y Fornells son estaciones suburbanas, y por ello no representan estrictamente los niveles de fondo urbano.

URBANAS DE TRÁFICO: estaciones como Getxo, Vitoria, Mesa y López, Sagrera o L'Hospitalet. 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 proximidad de las estaciones a vías de tráfico intenso.

INDUSTRIALES: estaciones como Basauri, Beasain, Néstor Álamo y Onda, que reciben la influencia directa o indirecta de las emisiones de áreas de producción industrial de diversos orígenes.

Los niveles medios anuales de partículas para todo el periodo de estudio (expresados como $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) así como el número medio de superaciones del valor límite diario ($50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) propuesto por la directiva 1999/30/CE para 2005 y 2010 registradas en las diferentes estaciones de muestreo se resumen en la Tabla 4.4.1. Lo primero que destaca al observar esta tabla es la similitud de los valores obtenidos para cada tipo de estación y para ambos parámetros, ya que se trata de zonas de estudio muy distantes entre sí y con características meteorológicas y geográficas muy diversas, y a pesar de ello los resultados no difieren en gran medida. Esta tabla permite apreciar el predominio de las estaciones urbanas de tráfico en este estudio (13 sobre 31 estaciones totales) sobre los demás tipos de estación (5 estaciones de fondo rural, 8 de fondo urbano y 5 industriales).

Los valores reflejados en la Tabla 4.4.1 se han resumido en la Tabla 4.4.2 para destacar los rangos de variación de los niveles medios anuales de partículas en las diferentes zonas de estudio y en función del tipo de estación. Las estaciones de fondo regional o rurales presentan valores en torno a $16 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en el País Vasco, mientras que en el sector mediterráneo y Canarias pueden llegar a alcanzar $19\text{-}20 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$. Los niveles de partículas en Canarias y el sector mediterráneo son así ligeramente superiores a los registrados en el País Vasco, debido principalmente a tres factores: 1) la gran influencia que ejerce la meteorología sobre los niveles de partículas en el País Vasco, ya que el frecuente paso de frentes provoca procesos de lavado atmosférico que reducen considerablemente los niveles de partículas en suspensión; 2) la mayor incidencia de los episodios de intrusión de masas de aire africano en Canarias y Levante con respecto al País Vasco; y 3) la incidencia de episodios de recirculación regional de masas de aire en el área mediterránea, ausentes en general en el País Vasco y Canarias. Consecuentemente, y a pesar de la distancia, los niveles de partículas en estaciones de fondo rural son más similares en la costa Mediterránea y Canarias que en el País Vasco.

Tabla 4.4.1. Niveles medios anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM_{10} (obtenidos a partir de los originales de PST) y número medio de superaciones del valor límite diario obtenidos durante 1996-2000 (1998-2000 en Canarias) para las tres zonas de estudio, en función del tipo de estación. Niveles de PM_{10} obtenidos a partir de PST aplicando un factor $\text{PM}_{10}/\text{PST}=0.8$ en País Vasco y Levante, y $\text{PM}_{10}/\text{PST}=0.7$ en Canarias. * Valores de PM_{10} originales. † Estaciones suburbanas.

F.Rural	PM10	n	F.Urbano	PM10	n	Urbano	PM10	n	Industrial	PM10	n
Valderejo*	16	5	Llodio	30	34	Getxo	39	53	Basauri	54	104
El Río	19	17	Abanto	31	54	Vitoria	35	70	Beasain	44	110
Monagrega*	17	4	Galletas	23	24	S.Sebastián	34	40	Mazarredo	43	102
Morella*	20	5	Arinaga	29	30	Durango	40	88	Néstor Álamo	56	143
Coratxar*	16	2	PIIngles	28	30	Mondragón	41	89	Onda	48	104
			Sardina	28	30	Rentería	38	79			
			Fornells [†]	27	13	Mesa y López	46	85			
			Penyeta [†]	28	25	Polideportivo	41	66			
						Gladiolos	39	59			
						El Médano	35	50			
						Sagrera	38	57			
						L'Hospitalet	39	64			
						Igualada	45	94			

Tabla 4.4.2. Rangos de niveles medios anuales de PM10 (obtenidos a partir de PST) para el periodo 1996-2000 (1998-2000 en Canarias) en las tres áreas de estudio seleccionadas en función del tipo de estación: fondo regional, fondo urbano, urbano e industrial.* Valores de PM10 originales.

	Fondo regional ($\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$)	Fondo urbano ($\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$)	Urbano ($\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$)	Industrial ($\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$)
País Vasco	16*	30-31	34-41	43-54
Canarias	19	23-29	35-46	41-56
Mediterráneo	16*-20*		38-45	48

Las estaciones de fondo urbano presentan valores similares para todas las zonas de estudio aunque no tanto como en el caso de las estaciones rurales, y oscilan entre 23-31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Las estaciones del Mediterráneo no se incluyen en esta tabla dado que son suburbanas, y por tanto no representan las condiciones de fondo urbano. Los rangos de variación en las estaciones de fondo urbano son más estrechos en el País Vasco (30-31 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) que en Canarias (23-29 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$), donde además los niveles de partículas son ligeramente inferiores. El límite inferior del rango en Canarias es el mínimo de todas las zonas de estudio, lo cual es producto de un menor grado de contaminación por material particulado atmosférico de origen antropogénico local. Las contribuciones a la fracción PM10 del polvo africano transportado hacia las islas durante episodios de intrusión de masas de aire africano son la principal causa de los elevados valores de PM10 registrados en esta zona de estudio, ya que como se ha visto en las secciones anteriores éstas representan un fuerte impacto en los niveles de partículas. Esta situación observada en las estaciones de fondo urbano se detecta de igual manera en las estaciones urbanas e industriales.

Los niveles medios anuales de PM10 en las estaciones urbanas de tráfico en las tres zonas de estudio abarcan desde 34 hasta 46 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, con el mayor rango de variación de los niveles de partículas registrado en Canarias (35-46 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ frente a 34-41 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en el País Vasco y 38-45 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en el sector mediterráneo). Se aprecia en este punto la influencia de las emisiones de tipo antropogénico, ya que los niveles registrados en estas estaciones duplican los obtenidos en estaciones de fondo regional.

Por último, en las estaciones industriales los niveles de partículas son máximos, y varían entre 41-56 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, coincidiendo con el rango de niveles de partículas obtenido en Canarias.

A la hora de evaluar el grado de cumplimiento de los requisitos propuestos para 2005 y 2010 por la directiva 1999/30/CE de los datos del periodo 1996-2000 (1998-2000 en Canarias), es necesario recordar que se ha aplicado a los datos del País Vasco y el sector mediterráneo el ratio $\text{PM}_{10}/\text{PST}=0.8$ propuesto por la directiva 1999/30/CE, mientras que en Canarias debido a la mayor presencia de materia mineral de diámetro grueso se ha utilizado un valor de $\text{PM}_{10}/\text{PST}=0.7$. La Figura 4.4.1 muestra la situación de los registros medios para 1996-2000 de las 31 estaciones (12 en el País Vasco, 10 en Canarias, 9 en el sector mediterráneo) con respecto a los valores límite diarios y anuales impuestos por la directiva 1999/30/CE (media anual de 40 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ y máximo de 35 superaciones anuales del valor límite diario de 50 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en 2005; media anual de 20 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ y máximo de 7 superaciones anuales del valor límite diario de 50 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en 2010):

- Cuatro de las cinco estaciones rurales cumplirían los requisitos impuestos para los años 2005 y 2010. La única estación rural que incumpliría el número de

superaciones es El Río, aunque debido a que las superaciones son de origen africano éstas deberían ser descontadas del cómputo final.

- Siete de las ocho estaciones de fondo urbano cumplirían los valores propuestos para 2005 aunque incumplirían los requisitos establecidos para 2010. La estación de Fornells respetaría incluso el número de superaciones permitido para 2010. La única estación que incumpliría la normativa sería Abanto, que cumpliría el valor límite anual para 2005 pero no el número de superaciones. Ello es debido a la influencia de un complejo petroquímico próximo a la estación.
- Cuatro de las doce estaciones urbanas de tráfico y todas las industriales incumplirían los requisitos impuestos a escala diaria y anual tanto para 2005 como para 2010. Destaca el hecho de que el grado de incumplimiento es mayor en lo referente al número de superaciones del valor límite diario que al anual, ya que como se verá posteriormente éstos valores límite no son equivalentes.
- Las nueve estaciones de tipo urbano restantes estarían en condiciones de cumplir el valor medio anual propuesto para 2005, pero todas ellas superarían el número máximo permitido de superaciones anuales del valor límite diario.

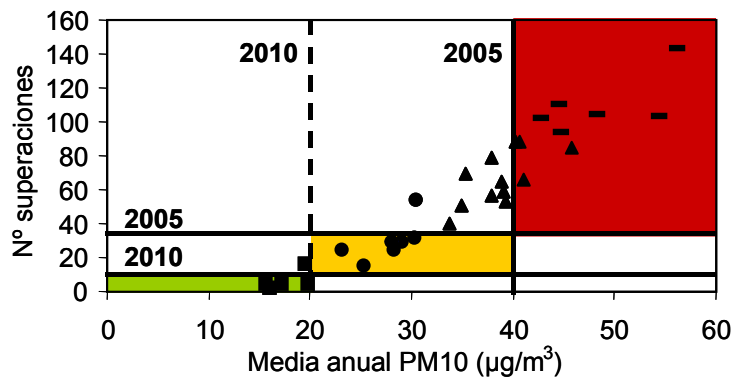


Figura 4.4.1. Evaluación del grado de cumplimiento de los requisitos impuestos por la directiva 1999/30/CE (promedio anual=40 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en 2005 y 20 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ en 2010, y número de superaciones de 50 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) tomando como base los registros medios para 1996-2000 para el País Vasco y el sector mediterráneo, y 1998-2000 para Canarias, en función del tipo de estación: ■: estaciones de fondo regional; ●: estaciones de fondo urbano, suburbanas y urbanas con tráfico moderado; ▲: estaciones urbanas, con tráfico intenso y/o influencia industrial; —: estaciones industriales.

A partir de estos datos es posible concluir que, con los registros de 1996-2000, en las tres zonas de estudio las estaciones rurales serían las únicas que podrían cumplir los requisitos de la directiva 1999/30/CE para el año 2010. Por el contrario las estaciones de fondo urbano, que representan en mayor medida los niveles a los que está expuesta la población, cumplirían lo establecido para el año 2005. Las estaciones de tipo urbano de tráfico, por otra parte, respetarían en su mayoría el valor límite anual de 2005, pero todas ellas superarían el máximo número de superaciones del valor límite diario permitido para 2005 y 2010. Finalmente, todas las estaciones industriales excederían ambos límites para 2005 y 2010.

La Figura 4.4.2a muestra la relación entre los valores límite anuales y el número máximo de superaciones anuales permitido para los años 2005 y 2010, y demuestra la falta de equivalencia entre ambos parámetros para las estaciones estudiadas. En función de los datos obtenidos a lo largo de este estudio, el número de superaciones que equivaldría al valor límite anual de 20 $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ (propuesto para 2010) sería entre 12-14, en lugar de 7, y el número de superaciones equivalente al límite de 40

$\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ de media anual propuesto para 2005 sería próximo a 80 (76-78), en lugar de 35. Es por ello que en la Figura 1 se muestra cómo el número de estaciones que cumple los requisitos en cuanto a la media anual es superior al número de estaciones que cumple el número máximo de superaciones anuales del valor límite diario. Al mismo tiempo, según estos resultados el máximo de 35 superaciones anuales se correspondería con un promedio anual de aproximadamente $28 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, en lugar de los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ propuestos. El límite de 7 superaciones anuales sólo se cumpliría con una media anual inferior a $15 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en diferentes estudios llevados a cabo en el Reino Unido y Alemania, en los que se demuestra que el equivalente al valor límite de $40 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ son 80-85 superaciones del valor límite diario, y que 35 superaciones anuales corresponden a una media anual de $30 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ (P. Bruckmann, comunicación personal; D. Laxen, comunicación personal).

Asimismo, en la Figura 4.4.2b se muestra la correlación entre los valores medios anuales de PM_{10} y el percentil 90% de los valores diarios calculado para cada una de las estaciones durante el periodo de muestreo. Con esta gráfica se pretende calcular el nivel medio diario de PM_{10} que equivaldría con un promedio anual de $40 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ al percentil 90 de los días del año ($n=35$), que constituye el número de superaciones del valor límite diario establecido por la directiva. De esta manera, en función de estos resultados se concluye que, si se mantiene el percentil 90% como máximo número permitido de superaciones del valor límite diario, este límite debería corresponder a $60\text{-}65 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, y no a $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ como se propone en la directiva actualmente.

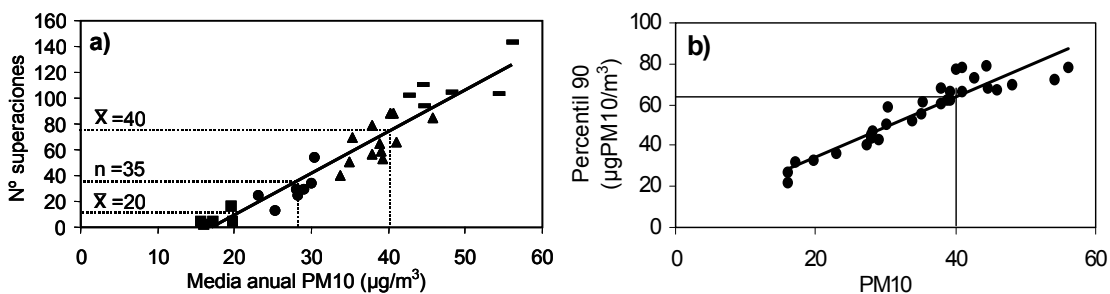


Figura 4.4.2. a) Correlación entre los niveles medios anuales de PM_{10} y el número de superaciones anuales del valor límite diario registradas como media para el periodo 1996-2000 (1998-2000 en Canarias) en las 31 estaciones seleccionadas en las zonas del País Vasco, Canarias y el sector mediterráneo. \bar{X} : promedio anual; n : número de superaciones anuales del valor límite diario de $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$. b) Correlación entre los niveles medios anuales de PM_{10} y el valor ($\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) equivalente al percentil 90% para el mismo conjunto de datos.

4.4.2. Variación estacional

La evolución estacional de los niveles medios mensuales de PM_{10} en las diferentes estaciones de las tres zonas de estudio se ha representado en la Figura 4.4.3. Según estos resultados, dicha evolución estacional es independiente de la zona de estudio y depende mayoritariamente del tipo de estación, ya que se observan claramente dos tendencias bien diferenciadas: una descrita por las estaciones de fondo rural e industrial, y otra por las urbanas e industriales. Mientras que la tendencia descrita por las estaciones rurales es idéntica para las estaciones de las tres zonas, la evolución estacional de las estaciones urbanas e industriales presenta ligeras diferencias entre las estaciones, aunque también de forma independiente de la zona de estudio. Así, las dos tendencias observadas son:

- Estaciones de fondo rural: máximo puntual en los meses de Febrero-Marzo, e incremento progresivo de los niveles desde Mayo a Septiembre, con máximo en Julio-Agosto.
- Estaciones urbanas e industriales: máximos invernales y mínimo estival, con descensos puntuales en los meses de Abril y Mayo.

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

Verano: en las zonas urbanas e industriales las emisiones locales se diluyen relativamente respecto al invierno debido a las condiciones atmosféricas que favorecen la dispersión, como consecuencia del mayor espesor de la capa de mezcla. Al mismo tiempo, estas mismas condiciones atmosféricas dispersivas favorecen el transporte de los contaminantes emitidos en zonas urbanas e industriales hasta las zonas rurales, y es por ello que es en el periodo estival cuando las estaciones rurales registran los mayores niveles de partículas. Asimismo, en el verano la resuspensión de material particulado (por las circulaciones convectivas) es mayor que en invierno tanto en las zonas rurales como en las urbanas e industriales. Por último, en verano se producen periodos largos sin precipitación, durante los cuales no se producen los procesos de lavado de contaminantes atmosféricos característicos del invierno.

Otoño-invierno: las condiciones atmosféricas típicas de invierno se caracterizan por la reducción del espesor de la capa de mezcla y la presencia frecuente de inversiones térmicas en superficie, lo cual resulta en la menor capacidad dispersiva de la atmósfera. Ello implica en las zonas urbanas e industriales la acumulación y concentración de los contaminantes atmosféricos, con lo que los niveles de partículas alcanzan un máximo invernal. Asimismo, la mayor estratificación y estabilidad atmosférica impide el transporte a escala regional de contaminantes, y por ello las estaciones rurales registran mínimos invernales de partículas.

Al margen de estas diferencias invierno-verano, existen dos tipos de episodio que tienen un impacto notable en los niveles de partículas. El primero de ellos son las intrusiones de masas de aire africano, que se producen generalmente en Febrero-Marzo y en verano y afectan a las tres zonas de estudio. Estos procesos son los que regulan en mayor medida la estacionalidad de los niveles de partículas en Canarias. El segundo de los procesos son los episodios de recirculación regional de masas de aire, que se producen mayoritariamente en el sector mediterráneo y con mayor frecuencia en el periodo Mayo-Octubre.

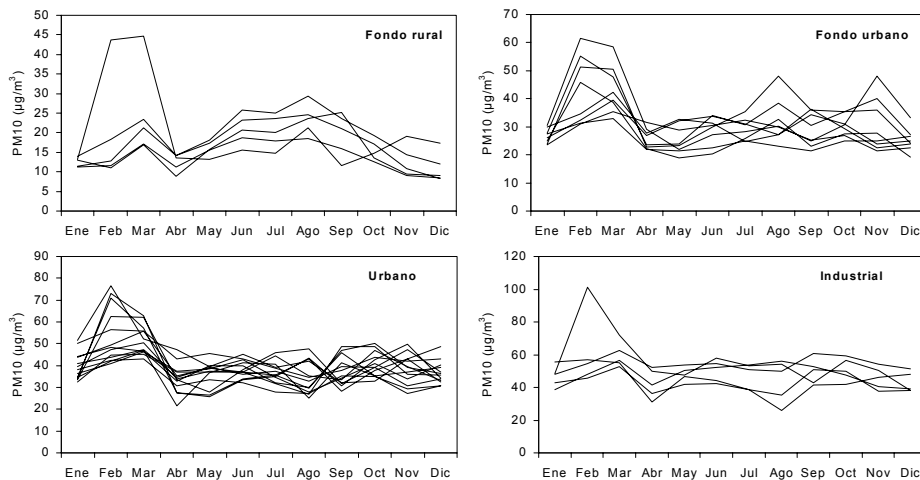


Figura 4.4.3. Evolución estacional de los niveles medios mensuales (1996-2000) de PM10 para todas las estaciones de las tres zonas de estudio, en función del tipo de estación: fondo regional, fondo urbano, urbano e industrial.

4.4.3. Áreas fuente: Interpretación de diferentes escenarios de transporte

El estudio del transporte a larga distancia de masas de aire y su impacto en los niveles de partículas en suspensión de las tres zonas de estudio seleccionadas se ha llevado a cabo mediante el cálculo de retrotrayectorias isentrópicas para 5 días y a tres alturas diferentes (750, 1500 y 2500 m.s.n.m.). El cálculo de retrotrayectorias ha permitido definir una serie de sectores o áreas fuente que son comunes para todas las zonas, con la excepción del sector Atlántico Norte (AN) que en el área mediterránea coincide con el sector europeo (EU), y el sector regional (RE). Este último se encuentra definido solamente para el área mediterránea, ya que sólo aquí se han logrado aislar los procesos de recirculación de masas de aire de los demás escenarios de transporte, debido a su frecuencia e intensidad. El sector mediterráneo (ME) en Canarias representa el área fuente de masas de aire con origen en la cuenca mediterránea pero que en su mayoría atraviesan el Norte de África en su trayecto hacia la zona de estudio. Es por ello que este tipo de trayectoria lleva generalmente asociados niveles elevados de material particulado. Los escenarios de transporte más frecuentes en cada una de las áreas de estudio se resumen en la Figura 4.4.4.

Destaca en primer lugar la importancia del transporte de masas de aire desde diferentes sectores del océano Atlántico, ya que éste es mayoritario en las tres zonas de estudio. Los patrones de transporte atlánticos se registran en promedio el 76% de los días en el País Vasco, y constituyen así el escenario dominante en esta zona. En Canarias, dada la circulación de los vientos Alísios, el transporte atlántico representa el 63% de los días al año, mientras que en el sector mediterráneo éste constituye el 54% de los días, con lo que se mantiene como sector dominante aunque en menor medida. El Norte de África, por otra parte, es un área fuente de considerable importancia en Canarias (25%) y relativa en el sector mediterráneo (13%), mientras que en el País Vasco el transporte desde esta zona es solamente esporádico (8% de los días). La distancia al área fuente es un factor fundamental en este caso.

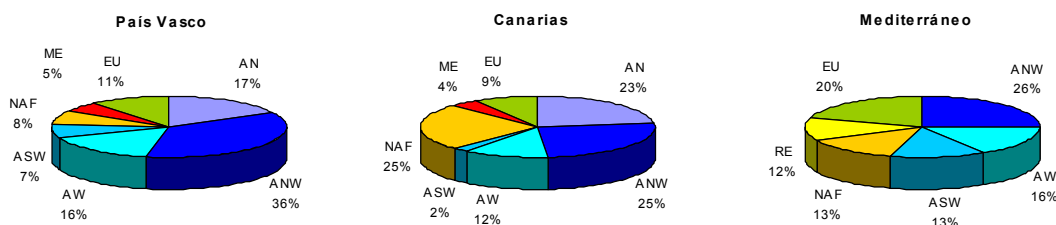


Figura 4.4.4. Frecuencia media (% de días en el año) de los diferentes escenarios de transporte detectados en las tres zonas de estudio a lo largo de 1996-2000 (1998-2000 en Canarias). AN: Atlántico Norte; ANW: Atlántico Noroeste; AW: Atlántico Oeste; ASW; Atlántico Sudoeste; NAF: Norte de África; ME: Mediterráneo; EU: Europa; RE: Regional.

El escenario de transporte dominado por episodios de recirculación regional, presente únicamente en el sector mediterráneo, se registra en promedio el 12% de los días del año. Finalmente, el transporte europeo es minoritario en Canarias (9%), relativamente frecuente en el País Vasco (11%) y frecuente en el Mediterráneo (20%). El elevado porcentaje registrado en el Mediterráneo es debido a la proximidad del continente, y a que este sector incluye también las trayectorias de origen mediterráneo.

Las concentraciones de partículas asociadas a cada una de las áreas fuente son características de las mismas, y son coincidentes en términos relativos en las tres zonas de estudio (Figura 4.4.5). Así, los niveles más elevados de material particulado en los tres casos se registran siempre bajo escenarios de transporte norteafricano, alcanzándose valores medios anuales de 93 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en Canarias (Las Palmas de Gran Canaria, estación de Mercado Central) y 50 $\mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en el País Vasco (Llodio) y el sector mediterráneo (Barcelona, Sagraera). De igual manera, en todas las zonas de

estudio los niveles de partículas minimizan bajo escenarios de transporte atlántico, debido a la advección de masas de aire oceánico libre de contaminantes y a la mayor dispersión. Los niveles de PST registrados en estos casos oscilan entre $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Llodio y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Mercado Central (debido a los intensos aportes de aerosol marino).

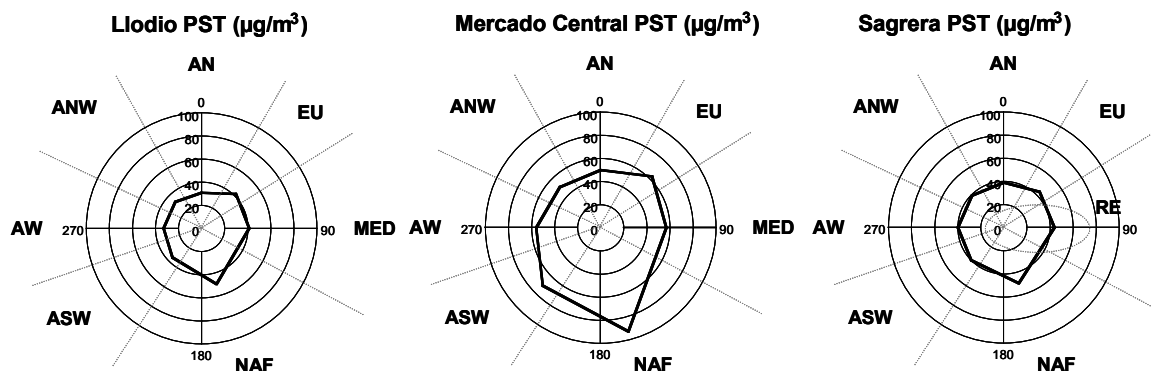


Figura 4.4.5. Niveles medios anuales de PST para el periodo 1996-2000 (1998-2000 en Canarias) en las estaciones de Llodio, Mercado Central (Las Palmas de Gran Canaria) y Sagrera (Barcelona) en función del área fuente de las masas de aire.

4.4.4. Procesos comunes de control de los niveles de PST y PM10

Los niveles de material particulado en las tres zonas de estudio vienen determinados a escala local por distintas fuentes de emisión (generalmente de origen antropogénico), y a escala regional por aportes externos de masas de aire con elevados o muy reducidos niveles de PM10, así como por condiciones meteorológicas específicas. Los distintos procesos que influyen sobre los niveles de partículas en las tres zonas se describen a continuación.

a. Advección de masas de aire de origen atlántico

Estos procesos atmosféricos tienen especial repercusión en los niveles de partículas registrados sobre todo en el País Vasco y en el sector mediterráneo, y es bajo estas situaciones cuando se obtienen los menores niveles medios de PST en todos los tipos de estación de muestreo. El efecto de la renovación de masas de aire contaminado por masas de aire oceánico, de la precipitación y del paso de frentes sobre los niveles de material particulado es la reducción de los mismos de forma generalizada en todas las estaciones. Este efecto se registra mayoritariamente en invierno, cuando el Golfo de Vizcaya queda expuesto a los sucesivos pasos frontales asociados a las borrascas atlánticas (Millán et al., 1984). Bajo estas condiciones se dan los escenarios meteorológicos adecuados para una mejor ventilación de ambas zonas de estudio mediante el sucesivo paso de frentes y borrascas, que impiden la acumulación atmosférica de partículas en suspensión debido a la deposición húmeda y a la entrada de aire oceánico. En el País Vasco se da con frecuencia el lavado de contaminantes atmosféricos en suspensión por acción de la precipitación, y se ha demostrado la existencia de 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. En el sector mediterráneo, por el contrario, la mayor reducción de los niveles de partículas viene asociada a la renovación de las masas de aire envejecido por el paso de frentes sin precipitación y su sustitución por masas de aire oceánico.

b. Intrusiones de masas de aire africano

Los niveles medios de material particulado registrados durante episodios africanos en las tres zonas de estudio (País Vasco, Canarias y sector mediterráneo) son los más elevados con respecto a los demás escenarios de transporte atmosférico distinguidos. Los mecanismos atmosféricos que generan las intrusiones de masas de aire africano sobre la Península Ibérica y Canarias han sido descritos por numerosos autores (Coude-Gaussen et al, 1987; Bergametti, 1989a y b; Chester et al., 1993; Rodríguez et al., 2001). El transporte de masas de aire desde el Norte de África se produce de forma natural como resultado de situaciones meteorológicas muy concretas, y por tanto presenta un marcado carácter estacional: Febrero-Marzo, Junio-Agosto y Octubre-Noviembre. Esta estacionalidad se repite en las diferentes zonas de estudio, aunque la frecuencia e intensidad de los episodios disminuye con la distancia al área fuente. Así, durante los tres periodos mencionados, en Canarias se producen frecuentes e intensos aportes de material particulado africano, y éstos se registran incluso fuera de estas fechas debido a la proximidad del archipiélago a las costas africanas. Por otra parte, en el sector mediterráneo también se detectan intrusiones de masas de aire africano en los tres periodos definidos, pero la duración e intensidad de los episodios es inferior a la registrada en Canarias. Por último, la distancia al área fuente del material particulado es máxima en el País Vasco, y por lo tanto la incidencia de este tipo de aporte es la menor de las tres zonas de estudio (en promedio, 5 episodios/año en el País Vasco frente a 7 en el Mediterráneo y 14 en Canarias) aunque los episodios invernales son bastante evidentes.

c. Transporte de contaminantes de origen europeo

Los episodios de aporte de material particulado europeo se observan esencialmente en el País Vasco, y de forma minoritaria en el sector mediterráneo. En Canarias los episodios europeos no son significativos en comparación con los demás tipos de episodio de partículas, aunque son detectables (McGovern et al., 2002). Los procesos de advección de masas de aire de origen europeo hacia la Península Ibérica se producen bajo situaciones atmosféricas determinadas, y pueden ser trazados por medio de los niveles de contaminantes estables tales como el sulfato antropogénico. Este tipo de aporte es difícil de cuantificar, 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. Asimismo, tal como indica la Figura 4.4.6, si se observa la situación a escala global es posible apreciar que la Península Ibérica se encuentra bajo la influencia constante de aportes de sulfatos de origen antropogénico y natural, y ello dificulta también la diferenciación entre episodios puntuales de transporte de masas de aire europeo y los niveles de sulfato de fondo a escala global. A modo de conclusión, es posible afirmar que existe un transporte de contaminantes de origen europeo hacia la Península Ibérica, y que éste se detecta con mayor claridad en la Cordillera Cantábrica (País Vasco) que en el resto de la península. La variabilidad que inducen estos episodios en los niveles de PM10 es inferior a la que producen los demás tipos de episodio definidos, aunque en PM2.5 y PM1 esta variabilidad es mayor. El transporte se produce bajo situaciones meteorológicas bien definidas que a su vez favorecen la acumulación de contaminantes de origen local, y por ello la identificación y cuantificación de estos episodios es compleja.

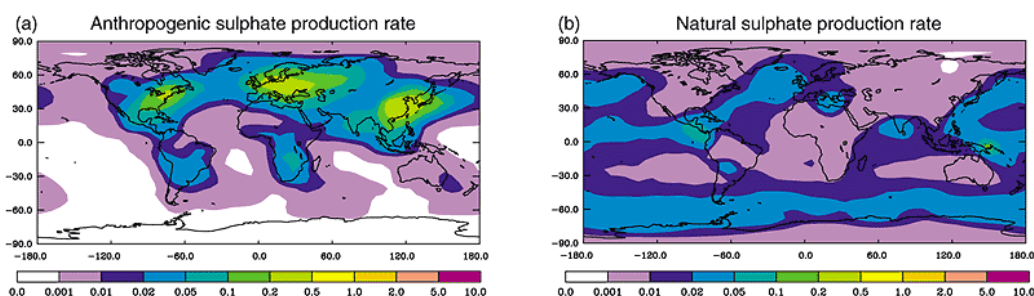


Figura 4.4.6. Distribución a escala global y concentración de sulfatos de origen natural y antropogénico (IPCC, 2001).

d. Recirculación regional de masas de aire

Los episodios de recirculación regional de masas de aire se producen de forma característica en el sector mediterráneo debido a sus singularidades geográficas y climáticas, y su impacto en los niveles de PM10 es notable aunque inferior al que generan los episodios de intrusión de masas de aire africano. La costa levantina de la Península Ibérica presenta rasgos meteorológicos bien diferenciados respecto a las regiones atlánticas de la península, que se derivan de su ubicación con respecto a los principales sistemas meteorológicos sinópticos en la zona, a la orografía que rodea al sector occidental de la cuenca mediterránea y al elevado grado de insolación y escasa pluviometría (Millán et al., 1997). El escenario meteorológico que da lugar a estos episodios se caracteriza por el desarrollo de situaciones de pantano barométrico y estancamiento atmosférico en verano, caracterizadas por la escasa renovación de masas de aire contaminado por las emisiones de entornos urbanos e industriales. En estos episodios el transporte de contaminantes desde las áreas urbanas e industriales hacia zonas rurales tiene lugar mediante circulaciones atmosféricas de índole local (brisa marina) o regional (la baja térmica estival), y el efecto neto es un aumento en la carga de partículas en suspensión a escala regional, que se refleja en el aumento paralelo en los niveles de PST y PM10 en las áreas urbanas, industriales y rurales (Rodríguez et al., 2002b, Querol et al., 2002a). Todo ello es posible debido a la baja intensidad de las circulaciones a escala sinóptica.

De este modo, se aprecia una diferencia clara entre los procesos que regulan los niveles de partículas en la Península Ibérica y Canarias. En Canarias, por una parte, dominan los aportes naturales de origen africano, que constituyen el factor externo que contribuye con mayor peso a los niveles de PST y PM10 (a excepción del aerosol marino, como se verá en los capítulos sucesivos). En la Península Ibérica, por el contrario, se registra la influencia de este tipo de aportes pero se dan otros procesos con gran impacto en los niveles de partículas. En primer lugar, la reducción de los niveles de contaminantes atmosféricos viene asegurada por los procesos de advección de masas de aire oceánico, que no sólo retiran contaminantes en suspensión, sino que actúan también mediante el lavado (en caso de precipitación) del material particulado sedimentado. Como se ha descrito con anterioridad, esta reducción de los niveles de partículas se produce en el País Vasco por vía húmeda (precipitación) y seca (renovación de masas de aire), mientras que en el levante peninsular predomina esta última. Además, la precipitación arrastra el material particulado sedimentado procedente de la erosión del firme, frenos y ruedas, así como de la demolición y construcción, de modo que impide su posterior resuspensión y consecuente incidencia sobre los niveles de partículas. Este efecto es cuantitativo, como se verá posteriormente.

Por otra parte, existen también episodios de partículas más evidentes en la Península Ibérica que en Canarias, como son el transporte de contaminantes atmosféricos desde Europa y los episodios de recirculación regional. El primero de estos procesos se registra mayoritariamente en el País Vasco, mientras que el segundo es casi exclusivo del sector mediterráneo. El impacto sobre los niveles de partículas de los episodios de recirculación regional es mayor que el de los europeos, pero en ambos casos es inferior al que suponen los episodios de intrusión de masas de aire africano y la advección de masas de aire oceánico en los niveles de partículas en aire ambiente.

4.4.5. Episodios de partículas

Tras haber identificado de los distintos procesos que regulan los niveles de material particulado a escala local, regional y a larga distancia en cada una de las zonas de estudio, en la Tabla 4.4.3 se muestra una estadística en la que se analizan los episodios de partículas registrados a lo largo de los cinco años de estudio (3 en Canarias). Los episodios han sido clasificados en tres categorías en el País Vasco y Canarias: a) Norteafricanos, b) Antropogénicos y c) una mezcla de ambos. En el sector mediterráneo se han distinguido episodios Norteafricanos, Antropogénicos y de recirculación Regional. Los episodios Antropogénicos en el País Vasco incluyen los eventos de transporte europeo, al ser éstos registrados en la mayoría de las ocasiones simultáneamente con episodios de contaminación antropogénica local.

El número medio de episodios registrados al año es máximo en el País Vasco (41) y mínimo en Canarias (32). En el sector mediterráneo se registra un valor intermedio aunque próximo al obtenido en el País Vasco (39). Sin embargo, la duración media de los episodios de partículas en las tres zonas es muy similar: en promedio 4.1 días/episodio en el País Vasco, 3.5 días/episodio en Canarias y 4.0 días/episodio en el Mediterráneo.

Los episodios han sido clasificados también en función de los niveles de partículas alcanzados en promedio en las estaciones urbanas e industriales, de modo que se han obtenido dos categorías: episodios en los que la media en estas estaciones es $>50 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, y aquellos en los que es $>70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ (Tabla 4.4.3). Entre los episodios con niveles de partículas $>50 \text{TSP } \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el País Vasco predominan los Antropogénicos (24 episodios/año) y en Canarias los Norteafricanos (14 episodios), mientras que en el sector mediterráneo se obtienen valores similares para ambos (Antropogénicos=8, Norteafricanos=7). En los casos en los que los niveles de partículas son $>70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, en el País Vasco vuelven a dominar los episodios de tipo Antropogénico (9) y en Canarias se acentúa la diferencia entre Norteafricanos y Antropogénicos (10 frente a 2). En la costa Mediterránea predominan los episodios Norteafricanos (3). En función de estos resultados es posible concluir que:

- En el País Vasco los episodios con mayor influencia sobre los niveles de material particulado atmosférico son de origen antropogénico, y en su mayoría local. Se detectan también episodios de origen natural (Norteafricano), que representan el 20% de los episodios cuando los niveles de partículas superan $70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$.
- En Canarias el mayor impacto en los niveles de partículas (promedio en estaciones urbanas e industriales $>70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, aproximadamente equivalente a $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) se registra bajo episodios de intrusión de masas de aire africano. Cuando los niveles de partículas son inferiores ($>50 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$, aproximadamente equivalente a $35 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) los episodios africanos siguen dominando, aunque se detecta también un número importante de episodios de origen antropogénico local.

- En el sector mediterráneo se observa un equilibrio entre los episodios de carácter antropogénico local y los aportes africanos cuando los niveles medios de partículas son $>50 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$. El número de episodios de recirculación Regional es ligeramente inferior, aunque también significativo. En los casos en los que los niveles de partículas superan $70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ destacan los aportes recibidos desde el continente africano, y no se detectan episodios Regionales.

Tabla 4.4.3. Episodios de varios días de duración (media 4.1 días/episodio en el País Vasco, 3.5 días/episodio en Canarias y 4.0 días/episodio en el Mediterráneo) 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; NAF-ANT: episodios de origen africano con componente antropogénica local; RE: episodios antropogénicos asociados con episodios de recirculación regional; ANT: episodios antropogénicos locales y/o europeos.

	n total	$> 50 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$			$> 70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$		
		NAF	NAF-ANT	ANT	NAF	NAF-ANT	ANT
PAÍS VASCO	41	5	3	24	3	2	9
CANARIAS	32	14	3	10	10	0	2
		NAF	RE	ANT	NAF	RE	ANT
MEDITERRÁNEO	39	7	5	8	3	0	1

4.4.6. Superaciones del valor límite diario por causas naturales

La aplicación de la directiva 1999/30/CE contempla la exclusión del cómputo anual de superaciones del valor límite diario para aquellas de origen natural. Esto incluye las superaciones registradas simultáneamente con episodios de intrusión de masas de aire africano. En este apartado se comparan para las tres zonas de estudio los resultados de la interpretación del origen africano y no africano de las superaciones del valor límite diario de $50 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ (aproximadamente equivalente a $60 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en el País Vasco y el sector mediterráneo, y a $70 \mu\text{gPST}/\text{m}^3$ en Canarias, Tabla 4.4.4). Las superaciones de origen no africano son esencialmente de origen antropogénico, aunque no excluyen las causadas por otras fuentes naturales. Las estaciones de Fornells y Penyeta han sido excluidas de este análisis debido a su carácter suburbano (no representativo de las condiciones de fondo urbano).

El número de superaciones de origen africano incrementa en función del tipo de estación (Tabla 4.4.4). Así, mientras que en las estaciones de fondo rural se detectan entre 1 y 13 superaciones coincidiendo con episodios de intrusión de masas de aire africano, este parámetro alcanza valores de 7 a 20 en las estaciones de fondo urbano, de 9 a 35 en las urbanas, y de 16 a 57 en las industriales. Este hecho es debido a la superposición de los aportes africanos a los niveles de partículas en las diferentes estaciones. Al ser éstos más elevados en las estaciones industriales que en las rurales, por ejemplo, el valor límite de $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ es sobrepasado con mayor frecuencia en las primeras que en las segundas.

En cuanto a la estacionalidad de las superaciones del valor límite diario, la Tabla 4.4.4 muestra cómo las de origen africano siguen la tendencia descrita para los episodios de intrusión de masas de aire africano, es decir, se producen generalmente en Febrero-Marzo y en verano. Las superaciones de origen no africano, por el contrario, se registran en invierno en las estaciones urbanas y en verano en las de fondo rural e industrial, al igual que se describe para la evolución estacional de los niveles de PM_{10} .

Tabla 4.4.4. Resultados de la interpretación de los patrones de transporte de los días con superación del equivalente teórico al nivel límite diario para 2005 y 2010 de la directiva europea de calidad del aire ($60 \mu\text{gTSP}/\text{m}^3$, equivalente a $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$) durante el periodo 1996-2000 (1998-2000 en Canarias) en las tres zonas de estudio, en función del tipo de estación. Se ha diferenciado entre patrones africanos (Afr.) y no africanos (No Afr.).

	FONDO RURAL						FONDO URBANO					
	Valderejo		El Río		Monagrega		Llodio		Playa Inglés			
	No-Afr.	Afr.	No Afr.	Afr.	NoAfr.	Afr.	No-Afr.	Afr.	No-Afr	Afr		
Ene	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2		
Feb	0	0	2	3	0	0	2	1	2	4		
Mar	0	0	1	5	0	1	6	2	1	4		
Abr	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0		
May	0	1	0	0	0	0	3	1	1	0		
Jun	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0		
Jul	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1		
Ago	2	0	0	1	0	1	0	1	2	3		
Sep	3	0	0	0	0	1	4	0	2	0		
Oct	0	0	0	1	0	0	2	0	0	2		
Nov	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3		
Dic	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2		
TOTAL	5	1	4	13	0	4	27	7	10	20		
	URBANO						INDUSTRIAL					
	S.Sebastián Mesa y López			Sagrera			Mazarredo Néstor		Álamo		Onda	
	No-Afr.	Afr.	No-Afr	Afr	NoAfr.	Afr.	No-Afr.	Afr.	No-Afr	Afr	NoAfr.	Afr.
Ene	4	1	7	5	3	2	7	2	3	4	2	2
Feb	4	2	5	6	5	1	7	3	4	10	5	2
Mar	7	2	9	5	7	2	12	2	7	10	10	4
Abr	2	0	11	2	6	0	6	0	10	1	5	0
May	2	1	3	2	3	1	6	2	7	4	7	2
Jun	1	1	7	2	2	2	7	1	13	3	10	2
Jul	0	1	2	0	2	1	4	2	13	2	11	2
Ago	0	1	2	3	0	1	3	2	13	4	8	6
Sep	3	0	3	0	2	0	13	0	5	2	10	2
Oct	3	1	0	1	5	2	10	1	6	6	8	1
Nov	2	0	0	6	4	0	6	0	5	7	3	0
Dic	3	0	3	4	5	0	5	1	2	4	3	0
TOTAL	31	9	51	35	44	13	86	16	87	57	80	24

En relación a la aplicación de la directiva europea de calidad del aire, según la Tabla 4.4.4 se demuestra que en ciertas estaciones las superaciones africanas son determinantes para el cumplimiento de los límites establecidos, mientras que en otras es indiferente ya que el número de superaciones no africanas es muy elevado (en base a los registros obtenidos en 1996-2000 y 1998-2000 en Canarias). Al descontar las superaciones africanas, en las estaciones de fondo rural de las tres zonas de estudio se cumplirían los límites establecidos para los años 2005 ($n=35$) y 2010 ($n=7$). En el caso de las estaciones de fondo urbano, en las tres áreas se cumpliría el límite de 2005, pero no así el de 2010. En las estaciones urbanas se observa una mayor variabilidad, ya que a partir de los ejemplos escogidos en el País Vasco y en Canarias se cumpliría el límite de 2005 por un estrecho margen, mientras que en el sector mediterráneo éste sería sobrepasado. Finalmente, todas las estaciones industriales incumplirían ambos límites incluso al descontar las superaciones debidas a episodios africanos.
