

7.1. Resumen de conclusiones

El conjunto de conclusiones extraídas del presente trabajo de investigación y expuestas en capítulos 4.4, 5.5 y 6.5 (“Discusión y Conclusiones”) puede ser resumido en los siguientes puntos:

1. Los niveles medios anuales de PM10 registrados en las estaciones de las tres zonas de estudio en función de los diferentes entornos son:

- a. País Vasco: fondo regional = $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$; fondo urbano = $30\text{-}31 \mu\text{g}/\text{m}^3$; urbano de tráfico = $34\text{-}41 \mu\text{g}/\text{m}^3$; industrial = $43\text{-}54 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- b. Canarias: fondo regional = $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$; fondo urbano = $23\text{-}29 \mu\text{g}/\text{m}^3$; urbano de tráfico = $35\text{-}46 \mu\text{g}/\text{m}^3$; industrial = $41\text{-}56 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- c. Mediterráneo: fondo regional = $16\text{-}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$; urbano de tráfico = $38\text{-}45 \mu\text{g}/\text{m}^3$; industrial = $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

2. En lo referente a la aplicación de la directiva 1999/30/CE, las estaciones rurales serían las únicas que podrían estar en condiciones de cumplir todos los requisitos establecidos por esta Norma para el año 2010. Las estaciones de fondo urbano cumplirían los requisitos exigidos para el año 2005. Algunas de las estaciones de tipo urbano de tráfico excederían el valor límite anual de 2005, y todas ellas excederían el máximo número de superaciones del valor límite diario permitido para 2005 y 2010. Por último, todas las estaciones industriales excederían ambos límites para 2005 y 2010.

3. Se demuestra la falta de equivalencia entre los valores límite anuales y el número máximo de superaciones anuales establecidos para los años 2005 y 2010 en las estaciones estudiadas. El número de superaciones que equivaldría al valor límite anual de $20 \mu\text{gPM10}/\text{m}^3$ (propuesto para 2010) sería entre 12-14, en lugar de 7, y el número de superaciones equivalente al límite de $40 \mu\text{gPM10}/\text{m}^3$ de media anual propuesto para 2005 sería próximo a 80 (76-78), en lugar de 35. En caso de mantener el percentil 90% como máximo número permitido de superaciones del valor límite diario, este límite debería corresponder a $60\text{-}65 \mu\text{gPM10}/\text{m}^3$ y no a $50 \mu\text{gPM10}/\text{m}^3$.

4. En la Península Ibérica la variación estacional de los niveles de material particulado atmosférico es función del tipo de estación. Durante el periodo invernal la mayor estratificación y estabilidad atmosféricas inhiben el transporte a escala regional de contaminantes, con lo que se detectan máximos niveles de partículas en estaciones urbanas e industriales y mínimos en estaciones de fondo regional. En verano la mayor capacidad dispersiva de la atmósfera favorece el transporte de contaminantes a lo largo de mayores distancias, con lo cual los niveles de material particulado atmosférico incrementan en estaciones de fondo regional. La mayor tasa de resuspensión local debida a las circulaciones convectivas características del verano contribuye también a incrementar estos niveles. En las Islas Canarias la evolución estacional de los niveles de partículas depende en gran medida de la estacionalidad de los aportes de material particulado recibidos desde el Norte de África.

5. La granulometría del material particulado atmosférico es diferente en cada una de las zonas de estudio y varía en función del punto de muestreo. Se observa una marcada diferencia entre la Península Ibérica y Canarias. El diámetro de las partículas incrementa desde Canarias (fondo urbano, $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}=0.40$ como promedio anual) hasta Barcelona y Tarragona (tráfico y fondo urbano, $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}=0.60$ y 0.62 , respectivamente) y el País Vasco (fondo urbano, $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}=0.74$). Los componentes de origen antropogénico se acumulan preferentemente en las fracciones

finas (PM_{2.5}), mientras que los naturales lo hacen en las gruesas (PM_{10-2.5}). La variación estacional del ratio PM_{2.5}/PM₁₀ depende también de la zona de estudio, y es diferente entre la Península Ibérica y Canarias. Mientras que en Barcelona se detectan partículas de mayor diámetro en verano (predominio de procesos de resuspensión local), en Llodio la situación es inversa (máximo transporte desde zonas costeras de material particulado de origen antropogénico secundario, de granulometría fina). Finalmente, en Canarias debido a su carácter insular y a su ubicación próxima al continente africano los aportes de aerosol marino y materia mineral son prácticamente constantes a lo largo del año, por lo que el ratio PM_{2.5}/PM₁₀ permanece relativamente constante.

6. Los principales procesos de origen natural y antropogénico con influencia sobre los niveles de material particulado en las tres zonas de estudio a escala sinóptica y en la meso-escala son: intrusiones de masas de aire africano, procesos de advección de masas de aire atlántico, circulaciones a escala regional de masas de aire y advección de masas de aire de origen europeo. El transporte de masas de aire de origen atlántico es predominante en las tres zonas de estudio (74, 70 y 55% de los días/año en Llodio, Las Palmas y Barcelona). En Canarias destacan los procesos de transporte desde el Norte de África (registrados el 23% de los días), que se detectan el 9% y 7% de los días en Barcelona y el País Vasco. El transporte de masas de aire de origen regional se detecta con mayor frecuencia en Barcelona (16% de los días). Por último, en Barcelona y Llodio el 15% de los días se registra transporte de origen europeo, mientras que en Canarias solamente el 5% de los días. Los episodios con mayor impacto sobre los niveles de partículas son las intrusiones de masas de aire africano, seguidos de los episodios de circulación regional y europeos. Por el contrario, los episodios de advección atlántica generan una reducción significativa de los niveles de partículas.

7. A escala local, los principales episodios de partículas tienen su origen en las emisiones ligadas a la actividad industrial o del tráfico. Se aportan datos cuantitativos para cada estación.

8. Como resultado de los análisis químicos realizados de las muestras tomadas a lo largo de 2001 se han identificado los siguientes componentes principales de PM₁₀ y PM_{2.5}:

- a. **Compuestos inorgánicos secundarios (CIS):** representan el 11% (4.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de la masa de PM₁₀ en Canarias, frente a 23-29% en la Península Ibérica (Barcelona 10.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Tarragona 10.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y Llodio 7.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente). Se trata así de un componente mayoritario de PM₁₀ en la Península Ibérica pero no así en Canarias. Son un componente mayoritario de PM_{2.5} en todas las zonas.
- b. **Materia carbonosa (OM+EC):** se encuentra repartida de forma más homogénea entre la Península y Canarias, al representar el 19% de la masa de PM₁₀ en Canarias (7.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y entre 23-25% en la Península (Barcelona 11.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Tarragona 8.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Llodio, y 8.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Es por tanto un componente mayoritario de PM₁₀ en la Península Ibérica y con ligeramente menor peso en Canarias. Componente mayoritario de PM_{2.5} en todas las zonas.
- c. **Materia mineral:** con una mayor variabilidad de fuentes de origen natural y antropogénico, alcanza un máximo de 34% de PM₁₀ en Barcelona (15.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y un mínimo de 23% (7.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en Llodio. En Tarragona este componente representa el 25% de PM₁₀ (9.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y en Canarias el 26% (11.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La materia mineral es así un componente mayoritario de PM₁₀ en todas las zonas de estudio. Su contribución disminuye en PM_{2.5} aunque

está todavía presente. Destacan las concentraciones de materia mineral en PM2.5 alcanzadas en Barcelona y Las Palmas.

- d. **Aerosol marino:** los niveles de aerosol marino ponen de manifiesto de nuevo las diferencias existentes entre las Islas Canarias (27%, 11.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y la Península Ibérica (5-7%, 2.3-2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). El aerosol marino es así componente mayoritario de PM10 en Canarias y minoritario en la Península Ibérica. Componente minoritario de PM2.5 en todas las zonas.

En lo referente al material particulado de origen natural (marino + mineral), los mayores aportes se registran en Canarias.

9. La fracción mineral en PM2.5 es muy superior en las estaciones de tráfico con respecto al resto (hasta un 100% más elevada que en estaciones de fondo regional y urbano e industriales), y por tanto gran parte (al menos 50%) del componente crustal en PM2.5 debe considerarse de origen antropogénico. La fracción marina en PM2.5, por otra parte, se reduce drásticamente en cuanto a concentraciones absolutas alcanzadas en PM10, aunque sigue existiendo una diferencia entre las zonas interiores de la Península Ibérica, las costeras y las atlánticas. De este modo, los aportes naturales y crustales se reducen considerablemente con respecto a PM10 en términos de concentración absoluta, aunque la suma de ambas contribuciones puede llegar a representar entre 15-30% de la masa de PM2.5 en las distintas zonas.

10. La aplicación de un análisis estadístico de contribución de fuentes mediante un modelo receptor ha permitido identificar entre 4 y 5 fuentes de PM10 en cada estación de muestreo (Tabla ii):

- Llodio: mineral, tráfico, transporte externo de contaminantes, industrial y marino.
- Las Palmas: marino, mineral, combustión, externo-antropogénico y tráfico.
- Barcelona: tráfico, mineral, industrial; combustión y marino.
- Tarragona: mineral, tráfico, industrial y marino.

En PM2.5 se identifican las mismas fuentes a excepción de la marina, que únicamente representa una fuente con contribución significativa en Canarias.

Tabla ii. Contribución de fuentes por medio de un modelo receptor a los niveles de PM10 en las cuatro estaciones seleccionadas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ y %).

	Llodio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Las Palmas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Barcelona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tarragona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PM10	32	44	46	37.0
<i>n</i>	85	88	90	88
Tráfico	6.9 (22%)	2.3 (5%)	14.8 (32%)	11.2 (30%)
Industrial	4.8 (15%)	-	10.2 (22%)	10.5 (28%)
Marino	2.3 (7%)	15.8 (35%)	2.2 (5%)	3.4 (9%)
Crustal	8.2 (26%)	14.7 (33%)	14.6 (32%)	11.5 (32%)
Combustión	-	4.6 (10%)	3.8 (8%)	-
Externo	6.0 (19%)	4.4 (10%)	-	-
Indet.	3.3 (11%)	2.9 (7%)	0.3 (1%)	0.4 (1%)

11. La distribución espacial en la Península Ibérica y Canarias de los principales compuestos presentes en PM10 varía en función de su naturaleza. Los niveles de sulfato atmosférico y de materia carbonosa dependen de los focos de emisión. Asimismo, los niveles de materia carbonosa varían en función del tipo de estación (fondo regional, urbano, tráfico o industrial). En el caso del sulfato puede existir

también una componente de transporte a larga distancia. Los niveles de nitrato atmosférico presentan un gradiente hacia el Este, donde se registran las concentraciones más elevadas. Este gradiente puede estar relacionado con la mayor frecuencia de episodios de recirculación regional de masas de aire en el sector mediterráneo y/o con las mayores concentraciones de NH_3 en esta zona. Las concentraciones de materia mineral son máximas en Canarias (aportes naturales) y en estaciones de tráfico intenso (aportes antropogénicos por erosión del firme de rodadura). Por último, los niveles de aerosol marino son más elevados en Canarias.

12. En la estación de tráfico de Barcelona los niveles de PM_{10} pueden descomponerse en la suma del 48% de aportes de fondo regional, 32% de aportes de fondo urbano y 20% del tráfico de la vía pública en la que está ubicada la estación. En las estaciones de fondo urbano de Tarragona, Llodio y Las Palmas se estima que el 60% de la concentración de PM_{10} proviene de los aportes del fondo regional.

13. Al comparar los resultados obtenidos con trabajos realizados en otros 6 Estados Miembros de la Unión Europea se observa que las concentraciones de componentes de origen típicamente antropogénico (materia carbonosa y compuestos inorgánicos secundarios) en dichos estudios europeos son análogos a los obtenidos en el presente trabajo. Sin embargo, los niveles de materia mineral son marcadamente superiores en las estaciones españolas. Ello es debido principalmente a tres factores: a) la incidencia de episodios de intrusión de masas de aire africano con elevada carga particulada mineral; b) la mayor aridez de los suelos que favorece la mayor resuspensión; y c) la menor tasa de precipitación anual, que impide el lavado del material particulado depositado sobre las vías de tránsito (por erosión del firme de rodadura) y que por tanto es susceptible a volver a entrar en suspensión. Consecuentemente, no sólo es el fondo mineral en España más elevado, sino que existe también una causa antropogénica que contribuye a elevar los niveles de materia mineral en suspensión.