
BLOQUE III

**CONCLUSIONES, FUTURAS
LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y
PUBLICACIONES**

Capítulo 11

CONCLUSIONES

11. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas a partir de los resultados del presente estudio se explican a continuación:

11.1. Niveles de material particulado atmosférico

La **dinámica atmosférica** en la zona de estudio se caracteriza por presentar dos situaciones típicas (Millán et al., 1997). En invierno se rige por la circulación sinóptica adaptada a la orografía, con predominio de vientos de componente NW de velocidades no muy elevadas en las estaciones de la zona de estudio. En verano existen circulaciones mesoescalares de periodicidad diaria, de modo que durante el periodo diurno predominan los vientos de componente ESE-SSE (brisa marina), mientras que en el periodo nocturno predominan los vientos de componente NW (derrame nocturno). Estos últimos presentan una velocidad inferior a los vientos diurnos. El conocimiento de la dinámica atmosférica, junto con la identificación de los principales focos emisores y su localización, ha permitido interpretar las variaciones de material particulado atmosférico en la zona de estudio.

Dependiendo de las condiciones meteorológicas predominantes, se distinguen distintos **tipos de episodios** de material particulado (Rodríguez, 2002; Viana, 2003 y Escudero et al., 2005).

Durante los episodios **regionales** las masas de aire sufren recirculaciones verticales sobre el Este de la Península Ibérica, teniendo como consecuencia la escasa renovación de masas de aire y por tanto la acumulación de contaminantes (Millán et al., 1992, 1997, 2000), por lo que se registra un incremento simultáneo de los niveles de PM y de ozono (este último sobre todo en estaciones de fondo) tanto en estaciones urbanas como estaciones de fondo regional. Los episodios regionales en el periodo y área de estudio predominaron el 14% de los días, teniendo lugar principalmente en el periodo de marzo a octubre, y los más acusados en los meses de verano.

Durante los episodios **africanos** tiene lugar un transporte de material particulado desde el norte de África hasta la zona de estudio que afecta a los niveles de PM en todos los tipos de estaciones. Los escenarios meteorológicos que favorecen dicho tipo de episodio son variados (Escudero et al., 2005). Los episodios africanos en el periodo y área de estudio predominaron el 20% de los días.

Durante los episodios **atlánticos**, las entradas de aire procedentes del Atlántico Norte o Noroeste suponen la renovación de las masas de aire de la zona de estudio por otras de origen oceánico con relativa baja carga de PM, de modo que el material particulado presente en la zona de estudio tiene un origen local o regional. En el periodo (2002-2005) y área de estudio, los episodios atlánticos predominaron el 56% de los días.

Durante los episodios **europeos**, los niveles de PM registrados no son muy elevados, y suelen ir acompañados de fuertes vientos y/o lluvia (Rodríguez (2002). En algunas ocasiones se pueden registrar incrementos en la fracción fina, debido principalmente a un incremento en los niveles de sulfatos. En el periodo y área de estudio, dichos episodios predominaron el 7% de los días.

Durante los episodios **mediterráneos**, los niveles de PM no son muy elevados, debido probablemente a la alta frecuencia de precipitación asociada con este tipo de episodios (Escudero et al., 2005). En el periodo y área de estudio, los episodios mediterráneos predominaron el 3% de los días.

Durante los episodios **locales**, se registra un incremento en los niveles de PM en estaciones urbanas e industriales, mientras que los niveles de PM en estaciones de fondo regional-rural permanecen bajos. Dichos episodios se deben al predominio de condiciones de poca dispersión, favorecidas en ocasiones por una inversión térmica, que provoca que la capa de mezcla tenga un espesor reducido (Rodríguez, 2002), favoreciendo la concentración de contaminantes en zonas urbanas e industriales (ya que muchas estaciones de fondo regional están por encima de la capa de mezcla). En el área y periodo de estudio, destacan los episodios sucedidos en abril de 2002, marzo de 2003 y febrero de 2004.

El **índice de impacto** (definido por Escudero et al., 2005) de cada uno de estos episodios es el siguiente: un 41-69% para los episodios atlánticos, un 5-36% para los episodios regionales, hasta un 10% para los episodios europeos, hasta un 7% para los episodios mediterráneos y un 14-34% para los episodios africanos. No obstante, la contribución real de las intrusiones de masas de aire africanas se ha cuantificado como la diferencia de la media de PM₁₀ registrada bajo escenarios africanos y la media de PM₁₀ registrada bajo escenarios de advección atlántica, lo cual resulta en una contribución de los episodios africanos a la media anual de PM₁₀ de entre 2 y 10% (entre 1 y 3 µg/m³).

En cuanto a la idoneidad de las estaciones de muestreo seleccionadas para la realización del estudio (L'Alcora-PM, Vila-real, Onda y Borriana-residencia), éstas se consideran representativas de la zona de estudio, en cuanto a niveles y composición de material particulado en áreas de fondo urbano y suburbano se refiere. Así, los niveles de material particulado registrados durante las **campañas intensivas de verano e invierno** se consideran representativos de las situaciones estivales (2002) e invernales (2002-2003) de la zona. Los resultados de dichas campañas conducen a las siguientes conclusiones específicas:

- En la campaña de verano, los **niveles de PM₁₀** fueron más homogéneos en las distintas estaciones de la zona de estudio, mientras que en invierno hubo mayor diferencia de niveles, debido a las diferentes condiciones de dispersión atmosférica. En general, las estaciones de fondo registraron niveles más elevados en la campaña de verano que en la de invierno, mientras que las estaciones urbanas y/o industriales presentaron una variación inversa.
- El **análisis químico** de las muestras de PM₁₀ recogidas en las dos campañas intensivas muestra que la materia mineral (principal componente del PM₁₀) y el OM+EC tuvieron una variación invierno-verano similar a la variación de la masa total de PM₁₀, mientras que los compuestos inorgánicos secundarios (principalmente el sulfato) fueron más elevados en verano que en invierno, independientemente de la variación de PM₁₀, producto de que el sulfato es un contaminante secundario afectado por procesos fotoquímicos. Los metales presentes en aire ambiente en general no siguieron un patrón estacional, lo que se atribuye a que proceden de fuentes que presentan variaciones importantes en su composición.
- Se puede realizar el seguimiento de la calidad del aire de la zona con un número de estaciones relativamente reducido, por lo que, atendiendo al criterio de disponibilidad de infraestructuras, se han seleccionado **cuatro emplazamientos como representativos de niveles y composición de material particulado**: L'Alcora-PM (urbana-industrial), Vila-real (urbana-industrial), Onda (suburbana-rural con baja influencia industrial) y Borriana-residencia (urbana con influencia industrial). Las tres primeras, por estar cercanas a la principal zona industrial y por tanto representar la calidad de aire en áreas urbanas-industriales (L'Alcora-PM y Vila-real) y en áreas de fondo (fuera del área metropolitana) con influencia industrial (Onda). La última estación (Borriana) se ha escogido por estar situada en un punto cercano a la costa, y afectado por el transporte de masas de aire contaminadas y canalizadas a través del valle del Millars, que pueden transportar emisiones del área cerámica hacia la citada población.

Los **niveles de PM₁₀** registrados en el periodo de estudio son relativamente homogéneos en las estaciones seleccionadas de la zona de estudio (33-37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como media anual en estaciones urbanas y 25-29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación suburbana de Onda). Onda se distingue debido a su situación con respecto a los principales focos emisores, pues su localización específica la sitúa en una subcuenca ligeramente aislada de la cuenca del Millars, lo que provoca que no esté tan afectada como las otras estaciones por las emisiones de la zona industrial. Los niveles registrados en Borriana-rural y Almassora (32-38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM₁₀) son similares a los de las estaciones urbanas, a pesar de tratarse de estaciones suburbanas, probablemente debido a su localización. Así, el **impacto de las emisiones** de la zona de mayor densidad industrial cerámica **en las localidades de la costa** se evidencia por los mayores niveles de PM₁₀ registrados en Borriana-rural y Almassora durante la noche que

durante el día. Este comportamiento se puede explicar a partir de la caracterización de la dinámica atmosférica en la zona, en la que los flujos de componente NW dominan el transporte atmosférico en periodos prolongados a lo largo del año, y con mucha frecuencia durante el periodo nocturno. Así, se favorece un transporte nocturno de contaminantes de la zona de mayor concentración industrial hacia la costa.

La **comparación** de los niveles de PM_{10} registrados en la zona de estudio con **otras estaciones similares** de España sin elevada influencia industrial (Querol et al., 2007a) indica que existe un exceso de entre 3 y 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} .

No se observa una **tendencia** clara de los **niveles de PM_{10}** en ninguna de las series temporales 2002-2005 obtenidas en las estaciones seleccionadas, excepto en L'Alcora-PM, donde se aprecia un ligero descenso en los niveles de PM_{10} a mediados de 2002, aunque posteriormente permanecen relativamente estables.

La **variación estacional de niveles de PM_{10}** registrada en las campañas intensivas de verano e invierno se repite en las series temporales 2002-2005. Así, en Onda, Borriana-rural y Almassora (estaciones de fondo), se registran niveles más altos en verano que en invierno. En el resto de estaciones (urbanas y/o industriales) no se repite un patrón definido debido a las condiciones meteorológicas de la zona y a episodios de contaminación antropogénica distribuidos aleatoriamente a lo largo del año.

En cuanto a la **variación semanal de niveles de PM_{10}** , se ha observado un ligero descenso de los niveles de PM_{10} los fines de semana, atribuible al descenso de tráfico y reducción de algunas operaciones de manipulación de material particulado al aire libre.

En Onda, una elevada proporción (60%) de las **superaciones del valor límite diario de PM_{10}** son debidas a aportes naturales de material particulado, mientras que en L'Alcora-PM, Vila-real y Borriana-residencia el número de estas superaciones es superior, y la mayoría de ellas (60-70%) se deben a episodios de contaminación local, algunos favorecidos por condiciones meteorológicas adversas, al igual que sucede en Borriana-rural y Almassora, a pesar de ser estaciones suburbanas.

Los **niveles de $PM_{2.5}$** durante el periodo de estudio fueron de 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Onda y de 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en L'Alcora-PM y Vila-real. Así, el ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ es de 0.7 en todas las estaciones, no muy diferente del registrado en varios estudios en España (0.4-0.8 según Querol et al., 2007a), no obstante, la granulometría del material particulado atmosférico se puede considerar relativamente fina.

La **comparación** de los niveles de $PM_{2.5}$ registrados en L'Alcora-PM y Vila-real con los niveles registrados en **estaciones urbanas de España** sin elevada influencia industrial (Querol et al., 2007a) indica que existe un exceso de unos 3-4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2.5}$.

11.2. Composición del material particulado atmosférico

El **componente mayoritario de PM₁₀** en el área de estudio es la **materia mineral** (o crustal). Destaca L'Alcora, donde la materia mineral supone entre 43 y 51 % de la media anual de PM₁₀. Así, los niveles de materia mineral registrados en la zona de estudio son entre 3 y 7 µg/m³ superiores a los registrados en estaciones similares españolas sin elevada influencia industrial.

Dado el exceso de masa total de PM₁₀ y de materia mineral, y conocido el margen de reducción de las emisiones de materia mineral generadas por las instalaciones de la zona, se puede fijar una **meta de reducción** de entre 3 y 5 µg/m³ en las **medias anuales de PM₁₀** en las estaciones urbanas de la zona de estudio, que se basa fundamentalmente en la reducción de los niveles de materia mineral.

En cuanto a la **variación estacional de los componentes de PM₁₀**, la materia mineral no muestra ninguna variación definida, dado que las emisiones de este componente están distribuidas de manera aleatoria a lo largo del año, y además los aportes naturales de materia mineral también tienen lugar a lo largo de todo el año. Sin embargo los niveles de OM+EC, principalmente emitido por el tráfico, muestran máximos en invierno y mínimos en verano, debido a las condiciones de menor dispersión en invierno, que favorecen la acumulación de contaminantes en las cercanías de los focos emisores. Los niveles de sulfato son superiores en verano que en invierno, como cabía esperar, dada la mayor velocidad de conversión del SO₂ en verano (ampliamente documentada) y dado el régimen de brisas predominante en verano en la zona de estudio, que favorece el transporte de las emisiones del complejo industrial costero hacia las estaciones del interior. El resto de componentes mayoritarios no muestran patrones estacionales definidos a lo largo del año.

Los niveles de **materia mineral en PM₁₀** son inferiores los fines de semana, probablemente debido a la menor actividad industrial, sobre todo en cuanto a transporte rodado de materias primas y actividades de manipulación al aire libre.

Al igual que en PM₁₀, el **componente mayoritario de PM_{2.5}** en el área de estudio es la **materia mineral** (29-42 % de PM_{2.5}), siendo máxima su contribución en L'Alcora. Este elevado porcentaje de materia mineral en la fracción fina es anómalo en comparación con el habitual en otras zonas de España (Querol et al., 2007a), resultando en un exceso de materia mineral en PM_{2.5} de entre 3 y 5 µg/m³ comparando con los niveles de materia mineral registrados en zonas de España sin elevada influencia industrial.

Dados los niveles de PM_{2.5}, los niveles de materia mineral en PM_{2.5}, y la reducción potencial de emisiones de materia mineral generadas por las instalaciones de la zona, se puede fijar una **meta de reducción de niveles de PM_{2.5}**, basado en la reducción de la fracción mineral, de entre 2 y 3 µg/m³ de la media anual de PM_{2.5} en estaciones de urbanas.

11.3. Niveles de elementos traza

Los niveles medios anuales de As, Cd, Ni y Pb registrados en 2005 son inferiores a los valores límite u objetivo establecidos por la **legislación** para su cumplimiento en 2005 (Pb) y 2013 (As, Cd y Ni), no siendo así para As en 2002, 2003 y 2004 (sólo L'Alcora y Borriana) en las estaciones de estudio.

Los niveles medios del periodo 2002-2004 de **Zn, Pb, Ba, Zr, Rb, As, Ce, Se, Li, Cd, La, Co, Tl, Sc, Pr, Cs y Be** en la fracción PM₁₀ son superiores al rango de concentración registrado en otras áreas urbanas sin elevada influencia industrial. Los relativamente altos niveles medios anuales se deben a emisiones generadas en la zona de estudio, bien sean relativamente constantes o esporádicas e intensas.

Se ha observado una **tendencia decreciente** en los niveles de algunos de los elementos traza analizados desde finales de 2003 hasta finales de 2005 (fin del periodo de estudio). Así, se ha observado un descenso en los niveles de Li, Zn, As, Rb, Cs, Ba, La, Tl y Pb en L'Alcora, Vila-real y Onda. En Borriana sólo se aprecia un descenso en los niveles de As, Pb y Zn hacia el final del periodo de estudio, aunque si se consideran los datos correspondientes a la estación del ayuntamiento, también se observa un descenso de los niveles de varios elementos traza. El descenso de los niveles de muchos de estos elementos traza se puede atribuir a la progresiva implantación de sistemas de depuración en algunas instalaciones de la industria cerámica, principalmente en la etapa de fusión para la fabricación de fritas, para cumplir los requisitos de la IPPC. No obstante, en 2006 los niveles de estos elementos no muestran ninguna reducción con respecto a los niveles de 2005, sino que en algunos casos incluso incrementan ligeramente, Así, los niveles de As, Pb, Zn y Tl en Borriana han incrementado en los últimos meses de 2006; además, se han registrado incrementos en los niveles de Pb en L'Alcora entre mayo y diciembre de 2006, que no van acompañados de incrementos en los niveles de As ni de Zn, lo cual puede indicar que los incrementos en los niveles de Pb no se deben a emisiones procedentes de la fabricación y uso de fritas cerámicas sino a otras fuentes. Por tanto, es necesaria la continuación del control de los niveles de elementos traza en aire ambiente para la identificación de posibles fuentes adicionales o identificación de alteraciones en las fuentes ya conocidas.

La estación de **Borriana** tiene probablemente una mayor influencia de focos industriales que el resto de estaciones, como lo indican los niveles más elevados de determinados elementos traza.

11.4. Identificación de fuentes de material particulado atmosférico

El **origen** de los elementos traza registrados en concentraciones superiores a las registradas en otras zonas de España y otros elementos traza relevantes es el siguiente:

- **Zr, Zn, Pb, As y Ti:** se consideran **trazadores** de las emisiones cerámicas para esta área y este periodo, dado que las principales actividades emisoras son el uso y fabricación de fritas cerámicas (Taylor y Bull, 1986; Stefanov y Batschwarov, 1988; Matthes, 1990).
- Se, Ce, Cd y Cr: deben sus relativamente elevadas medias anuales a episodios esporádicos que tienen su origen principal en el uso y fabricación de determinados pigmentos cerámicos (Parmelee, 1973; Matthes, 1990; Rincón et al., 1992; Masó et al., 2003).
- Sb: aunque generalmente se le asocia al tráfico (Pakkanen et al., 2001b; Sternbeck et al., 2002; Uexküll et al., 2005; Wåhlin et al., 2006), este elemento debe su relativamente elevada media anual a episodios esporádicos, por lo que se deduce que procede también del uso y fabricación de determinados pigmentos cerámicos (Stefanov y Batschwarov, 1988; Matthes, 1990).
- Rb, Li, La, Sc y Pr: tienen su origen principal en las emisiones de materia mineral, ya que se encuentran presentes en arcillas y feldespatos (Goldschmidt 1954).
- Ba y Cs: su origen mayoritario es el uso y fabricación de fritas cerámicas (Stefanov y Batschwarov, 1988; Matthes, 1990; Emsley, 2003).
- Co: procede de varias fuentes, ya que puede estar presente en arcillas y en algunos pigmentos cerámicos (DCMA, 1991; Matthes, 1990).
- Cu: su origen mayoritario es el tráfico (Pakkanen et al., 2001b; Sternbeck et al., 2002; Uexküll et al., 2005; Wåhlin et al., 2006).
- Mn: generalmente asociado al tráfico (Pakkanen et al., 2001; Sternbeck et al., 2002; Uexküll et al., 2005; Wåhlin et al., 2006), aunque en la zona de estudio está relacionado con la materia mineral.
- V: sus principales fuentes emisoras son la central térmica y la planta petroquímica, situadas en la costa (Olmez et al., 1988).
- Ni: al igual que el V, tiene su principal origen en la central térmica y la planta petroquímica (Olmez et al., 1988), sin embargo el Ni puede proceder también de instalaciones de fabricación y uso de determinados pigmentos cerámicos (DCMA, 1991).

El análisis de componentes principales aplicado a las series temporales de datos de composición química ha permitido identificar cinco factores comunes como

fuentes de PM₁₀ en el área de estudio: mineral, fondo regional, industrial 1, tráfico y aerosol marino.

- El factor **mineral** está caracterizado por la presencia de Al₂O₃, Ca, K, Mg, Fe, Ti, Li, Rb, Sr, Y, La, Pr, Nd y Mn y la elevada correlación de estas especies químicas con los niveles de PM₁₀ (es decir, una elevada influencia de estos componentes en los niveles de PM₁₀). En este factor se incluyen varias fuentes: industria cerámica (principalmente las etapas emisoras de material arcilloso), transporte de materiales pulverulentos, extracción de arcillas, intrusiones de masas de aire africanas y resuspensión del suelo.
- El factor de **fondo regional** está caracterizado por la contribución de SO₄²⁻, NH₄⁺, V y Ni, y una elevada correlación de estas especies químicas con los niveles de PM₁₀. En este factor se incluyen los componentes secundarios inorgánicos (formados a partir de precursores gaseosos) del fondo regional (a escala de centenas de kilómetros) y contribución del complejo industrial costero (central térmica, una planta petroquímica y una instalación de fabricación de productos orgánicos, fertilizantes y productos inorgánicos a partir de subproductos del petróleo).
- El factor **industrial 1** está caracterizado por la contribución de K, Zn, As, Rb, Cs, Tl y Pb. Este factor se atribuye al uso y fabricación de componentes de esmaltes cerámicos, principalmente la fabricación de fritas cerámicas.
- El factor **tráfico** está caracterizado por la contribución de OC+EC (emisión primaria procedente del motor) y NO₃⁻ (compuesto secundario formado a partir de la oxidación de las emisiones de NO_x). Como su nombre indica, este factor se atribuye al tráfico rodado.
- El **aerosol marino** está caracterizado por la contribución de Na y en menor medida Mg. Como su nombre indica, este factor se atribuye a las emisiones procedentes de la superficie del mar.
- Además, se ha identificado un segundo factor mineral en Borriana, asociado a las emisiones del **suelo** (definido por contribuciones de Ca y Mg principalmente) y un segundo factor **industrial** en L'Alcora, Vila-real y Borriana, caracterizado por la contribución de Zr, atribuible a un conjunto de fuentes emisoras de este elemento, entre las que se encuentra la fabricación de fritas cerámicas.

El análisis de regresión multilínea para cuantificar las contribuciones de las diferentes fuentes muestra que:

- La contribución del **fondo regional** es superior en Borriana y L'Alcora (11-12 µg/m³) respecto a Vila-real y Onda (6-9 µg/m³) debido a la mayor influencia de las emisiones del complejo industrial costero en las estaciones de Borriana y L'Alcora. La contribución del factor **mineral** es similar en las cuatro estaciones, con una contribución de entre 9 y 11 µg/m³. La contribución del factor **industrial 1** supone un incremento en los niveles de

PM₁₀ de 4-5 µg/m³ en las estaciones urbanas y de 2 µg/m³ en la estación de fondo suburbano. El factor **industrial 2** contribuye en 1-3 µg/m³ en las estaciones urbanas. La contribución del **tráfico rodado** es superior en Vila-real que en el resto de estaciones debido al mayor tamaño de esta ciudad. La contribución del **aerosol marino** a la masa total de PM₁₀ es relativamente reducida.

- La contribución de la **materia mineral** no ha variado a lo largo del periodo de estudio, lo cual refleja el escenario tecnológico de las principales fuentes emisoras, ya que los cambios significativos en las emisiones canalizadas de la industria cerámica (una de las principales fuentes de material mineral) tuvieron lugar antes del comienzo del presente estudio (principios de 2002).
- La contribución de la fuente **industrial 1** se ha reducido notablemente en todas las estaciones. En la estación de Onda la contribución de la fuente industrial 1 ha descendido de 2.4 µg/m³ en 2002-2004 a 0.3 µg/m³ en 2005. En las estaciones urbanas, la contribución de dicha fuente en 2002-2004 fue de 6-7 µg/m³, mientras que en 2005 sólo alcanzó 1.2-1.4 µg/m³ en L'Alcora y Vila-real. No obstante, la contribución de dicha fuente en Borriana en 2005 es aún relativamente importante, suponiendo 4 µg/m³.

Los resultados sobre la contribución de fuentes a los niveles de los distintos compuestos analizados en PM₁₀ conducen a las siguientes conclusiones:

- Los elementos As, Pb, Zn y Tl son emitidos principalmente por la fuente industrial 1 (más del 75, 65 y 61% para As, Pb y Zn). No obstante, la contribución de la fuente industrial 1 a los niveles de Tl no es tan elevada, siendo éste aportado en menor medida por otras fuentes.
- El Zr es aportado por distintas fuentes, la mayoría relacionadas con la industria cerámica.
- El Ca, Al₂O₃, Mg, Fe, Ti, Co, Sr, Y, La, Ce, Pr, Nd, Mn y Sc son aportados esencialmente por la fuente mineral, con reducidas contribuciones del resto de fuentes a los niveles de estas especies químicas.
- El SO₄²⁻, V y Ni presente en aire ambiente procede principalmente del fondo regional y de la central térmica y la refinería.
- El K, Li, Cr, Se, Rb Cs y Ba son aportados principalmente por dos fuentes: mineral e industrial 1.
- El resto de componentes son emitidos por distintos focos como así lo indica su contribución de fuentes.

El modelo utilizado (análisis de componentes principales y regresión multilineal) probablemente **sobrevalora ligeramente la fracción crustal** que aporta la **fente industrial 1** en detrimento de la contribución de la fuente mineral. Ello se deduce a partir de la siguiente consideración: la disminución de la contribución de la fuente

industrial 1 se ve reflejada en la concentración de los elementos característicos de dicha fuente (As, Pb y Zn, entre otros), mientras que no se ve reflejada en los niveles de materia crustal, como sucedería en caso de que la fuente industrial 1 aportara una cantidad considerable de materia crustal. Para confirmar dicha hipótesis es necesaria la aplicación de otros modelos de contribución de fuentes.

11.5. Cuantificación de las emisiones de material particulado generadas por la industria cerámica, evolución y relación con la calidad de aire

La emisión de PM_{10} procedente de las etapas de **almacenamiento y manipulación** de materias primas del soporte en la fabricación de baldosas cerámicas no ha variado significativamente a lo largo del periodo de estudio, ya que la implantación de medidas correctoras de alto rendimiento ha sido moderada y apenas ha compensado el incremento de la producción. A mediados del año 2006, la emisión generada en estas etapas se ha estimado en 1800 Tm/año de PM_{10} . El margen de mejora potencial (emisión resultante en caso de que todas las instalaciones implanten las MTD) se ha estimado en unas 1700 toneladas de PM_{10} anuales.

La emisión de material particulado procedente de la etapa de atomización supone un porcentaje muy elevado con respecto al total de emisiones canalizadas generadas en la fabricación de baldosas cerámicas. El grado de implantación de sistemas de depuración vía húmeda de elevado rendimiento ha aumentado desde 2000 hasta 2006, aunque el grado de implantación de filtros de mangas permanece aún reducido en 2006. En el resto de etapas generadoras de **emisiones canalizadas** de partículas el grado de implantación de MTD es elevado. A mediados de 2006, la emisión canalizada de partículas generada en la fabricación de baldosas cerámicas se ha estimado en 3300 Tm de PM_{10} anuales, de las cuales el 57% corresponde a la etapa de atomización. El margen de mejora potencial (en caso de que todas las instalaciones implanten las MTD) se ha estimado en unas 1500 toneladas de PM_{10} anuales.

La **emisión de PM_{10} procedente de las instalaciones de fabricación de fritas** cerámicas se debe principalmente a las emisiones generadas en los hornos de fusión para la fabricación de fritas, que en el año 2006 suponen un 80% del total de emisiones de PM_{10} procedentes de esta actividad industrial. El proceso de implantación de sistemas de depuración en los hornos de fusión tuvo lugar entre principios de 2003 y mediados de 2005, alcanzando un grado de implantación del 98%, provocando una reducción de las emisiones de unas 1600 Tm de PM_{10} anuales (de 1800 Tm a principios de 2003 a menos de 200 Tm de PM_{10} anuales a mediados de 2005), siendo la reducción más marcada a lo largo de 2004; posteriormente dicha emisión se ha mantenido relativamente constante. Dado el elevado grado de implantación de MTD, el margen de mejora potencial es muy reducido, estimado en 100 toneladas de PM_{10} anuales aproximadamente.

La **evolución de los niveles de As, Pb, Zn y Cs** en aire ambiente es paralela a la **evolución de la emisión de PM_{10} procedente de la fabricación de fritas**. Así, los niveles de As, Pb, Zn y Cs en aire ambiente muestran un claro descenso a lo largo del periodo 2002 a 2006 y de forma simultánea la emisión de material particulado generada en la fabricación de fritas ha disminuido considerablemente. Ello confirma

que los elementos traza indicados presentes en aire ambiente tienen su principal origen en las emisiones generadas en la fabricación de fritas.

Asimismo, la **evolución de los niveles de materia mineral** en aire ambiente no muestra ninguna tendencia definida, al igual que sucede con las **emisiones de PM₁₀ de composición principalmente mineral** (almacenamiento y manipulación de materias primas del soporte de baldosas, molienda, atomización, prensado y secado).

11.6. Posibles estrategias para reducir las emisiones de material particulado con impacto en la calidad de aire

Para la reducción de los niveles de PM_{10} y de algunos elementos traza en aire ambiente, se recomiendan una serie de **medidas**, orientadas principalmente a la reducción de las emisiones de material mineral y las emisiones de determinados elementos traza:

- Realización de las operaciones de **almacenamiento y manipulación** de materias primas del soporte de baldosas en instalaciones cerradas.
- Reducir las emisiones por **transporte de materiales pulverulentos** mediante pavimentación de los accesos para camiones, limpieza del firme de rodadura, riego de zonas de paso no pavimentadas, mantenimiento de los camiones evitando pérdidas de carga por fuga o reboses, limpieza de los bajos y neumáticos de los camiones a la salida de las empresas.
- Instalación de filtros de mangas en todos los atomizadores y hornos de fusión para la fabricación de fritas.
- Reducción del uso de materias primas con metales como impurezas o como componentes principales.
- Limpieza periódica de las vías de circulación de vehículos, para evitar la contaminación por resuspensión del polvo acumulado en dichas vías.

Capítulo 12

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

12. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo, se han planteado una serie de líneas de investigación que podrían complementar dichos resultados. Las futuras líneas de investigación propuestas se describen a continuación:

- Evaluación de los niveles y composición (incluyendo elementos traza) de $PM_{2.5}$ con mayor detalle, así como la identificación y cuantificación de las fuentes emisoras que contribuyen a incrementar los niveles de $PM_{2.5}$ en aire ambiente.
- Utilización de otros modelos de contribución de fuentes distintos al aplicado en el presente trabajo (análisis de componentes principales y regresión multilínea) utilizando las series temporales de datos del presente estudio. Se podría aplicar el modelo CMB (*Chemical Mass Balance*) o el modelo de PMF (*Positive Matrix Factorization*). Para aplicar el CMB es necesario disponer de los perfiles químicos de emisión de las distintas fuentes; lo cual es objeto de estudio de trabajos presentes y futuros desarrollados por ITC y CSIC.
- Estudio de contribución de fuentes que incluya series temporales de niveles de contaminantes gaseosos junto con las series temporales de composición química del PM_{10} , con el fin de definir mejor los perfiles de las fuentes emisoras. De este modo, algunos factores identificados con el análisis de componentes principales se podrían dividir en dos factores distintos, uno de verano y otro de invierno; por ejemplo el factor de fondo regional en verano mantendría la elevada contribución del sulfato, mientras que quizá se identificaría un factor de invierno con elevada contribución de SO_2 .
- Estudio de los niveles de carbono orgánico y carbono elemental, lo cual, junto el resto de datos de composición química de PM_{10} , permitiría quizá identificar y cuantificar la contribución de la fuente de combustión de biomasa a los niveles de PM_{10} en aire ambiente.
- Dada la evolución de los niveles de algunos elementos traza en L'Alcora y Borriana desde octubre de 2006 (relativamente más elevados que durante los meses anteriores), se recomienda la continuación del estudio de niveles y composición de PM_{10} (incluyendo elementos traza) para la identificación de posibles fuentes adicionales. Concretamente, los niveles de Pb en L'Alcora a partir de octubre de 2006 son relativamente elevados, si bien este incremento no va acompañado de un incremento de los niveles de As y Zn,

como sería de esperar si la fuente emisora fuera la fabricación de fritas, lo cual indica la existencia de fuentes adicionales de Pb, distintas a la indicada como fuente principal para este elemento durante 2002-2005. Los niveles de As registrados en Borriana desde octubre de 2006 son más elevados que los meses anteriores de 2006.

- Estudio de la variación día-noche de la composición de PM_{10} (incluyendo elementos traza) y relación con la dinámica atmosférica local, con el fin de identificar y localizar, las fuentes responsables de los incrementos esporádicos de algunos elementos. Dicho estudio está especialmente indicado en el caso de Borriana, dado que es la estación en la que se han registrado los niveles más elevados de la zona de estudio de la mayoría de los elementos traza.
- Cuantificación del impacto de la implantación de medidas correctoras adicionales en instalaciones que generan emisiones de composición esencialmente mineral (principalmente en las etapas de almacenamiento y manipulación de materias primas para la fabricación del soporte de baldosas cerámicas y en la etapa de atomización). Este estudio depende de que se lleven a cabo las medidas correctoras propuestas en el presente trabajo en las instalaciones industriales de la zona.
- Estudio de los niveles y composición de material particulado atmosférico en la zona situada al norte del área de estudio (Vall d'Alba, Cabanes) y la zona situada al sur (Nules, Moncofa), dada la expansión de actividad cerámica que tiene lugar en los polígonos industriales situados en dichas zonas.
- Estudio de la concentración de número de partículas submicrónicas y ultrafinas en aire ambiente, tanto sus niveles, como su variación y posible correlación con fuentes emisoras. El número de partículas es un indicador ambiental con mucha relación con los efectos en la salud del material particulado atmosférico.
- Estudio de los niveles de flúor en aire ambiente, ya que, si bien dicho contaminante no está regulado por la legislación sobre calidad de aire, el conocimiento de las fuentes emisoras en la zona de estudio indica que las concentraciones de flúor en las cercanías de los focos emisores pueden ser significativas. Además, los niveles de flúor en emisiones industriales sí que están regulados por la legislación.
- Aplicación de la metodología del presente trabajo para la identificación de metas de reducción en otras zonas con elevada influencia industrial.

Capítulo 13

PUBLICACIONES

13. PUBLICACIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo han sido publicados en **revistas científicas** de reconocido prestigio en los siguientes artículos:

Minguillón M.C., Querol X., Alastuey A., Monfort E., Mantilla E., Sanz M.J., Sanz F., Roig A., Renau A., Felis C., Miró J.V., 2007. PM₁₀ speciation and determination of air quality target levels. A case study in a highly industrialised area of Spain. *Science of the Total Environment* 372, 382-396.

Querol X., **Minguillón M.C.**, Alastuey A., Monfort E., Mantilla E., Roig A., Renau A., Felis C., Miró J.V., Artíñano B., 2007. Impact of the implementation of PM abatement technology on the ambient air levels of metals in a highly industrialised area. *Atmospheric Environment* 41, 5, 1026-1040.

Querol X., Alastuey A., Moreno T., Viana M.M., Castillo S., Pey J., Rodríguez S., Artíñano B., Salvador P., Sánchez M., Garcia Dos Santos S., Herce Garraleta M.D., Fernandez-Patier R., Moreno-Grau S., **Minguillón M.C.**, Monfort E., Sanz M.J., Palomo-Marín R., Pinilla-Gil E., Cuevas E., 2007. Spatial and temporal variations in airborne particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) across Spain 1999-2005. *Atmospheric Environment* (en prensa), doi:10.1016/j.atmosenv.2006.10.071.

Minguillón M.C., Querol X., Alastuey A., Monfort E., Mantilla E., Miró J.V., 2007. PM source contributions in a highly industrialised area in the process of implementing PM abatement technology. Quantification and evolution. *Journal of Environmental Monitoring* (en prensa).

Querol X., Viana M., Alastuey A., Amato F., Moreno T., Castillo S., Pey J., de la Rosa J., Artíñano B., Salvador P., García Dos Santos S., Fernández-Patier R., Moreno-Grau S., Negral L., **Minguillón M.C.**, Monfort E., Gil J.I., Inza A., Ortega L.A., Santamaría J.M., Zabalza J., 2007. Source origin of trace elements in PM from regional background, urban and industrial sites of Spain. *Atmospheric Environment* (en prensa).

Asimismo, algunos de los resultados obtenidos han sido presentados en distintos **congresos** nacionales e internacionales:

Autores: Querol X., Alastuey A., Viana M.M., Castillo S., Pey J., Moreno T., Artíñano B., Garcia Do Santos S., Fernandez Patier R., Sanz M.J., Minguillón M.C., Monfort E., Palomo R., Pinilla E.R.

Título: Time and Spatial Variations of Major Components of PM₁₀ and PM_{2.5} in urban sites of Spain

Tipo de participación: Ponencia

Congreso: **5th International Conference On Urban Air Quality**

Publicación: en libro de comunicaciones

Lugar de celebración: Valencia

Fechas: 29-31 marzo 2005

Autores: Querol X., Alastuey A., Moreno T., Viana M., Castillo S., Pey J., Artíñano B., Garcia Do Santos S., Fernández Patier R., Sanz M.J., Minguillón M.C., Monfort E., Palomo R., Pinilla R.

Título: Variaciones químicas, temporales y espaciales del material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en estaciones urbanas en España

Tipo de participación: Ponencia

Congreso: **IV Congreso Iberoamericano de Química y Física Ambiental**

Lugar de celebración: Cáceres

Fechas: 22-26 mayo 2006

Este trabajo obtuvo el premio Mario Molina.

Autores: Minguillón M.C., Querol X., Alastuey A., Monfort E., Mantilla E., Sanz M.J., Sanz F., Roig A., Renau S., Artíñano B., Felis C., Miró J.V.

Título: Niveles y fuentes de contaminantes particulados en una zona muy industrializada de España: composición y origen de PM₁₀

Tipo de participación: Póster

Congreso: **X Congreso de Ingeniería Ambiental - PROMA**

Publicación: en libro de comunicaciones

Lugar de celebración: Bilbao

Fechas: 3-5 octubre 2006

Autores: Querol X., Minguillón M.C., Alastuey A., Monfort E., Mantilla E., Sanz M.J., Sanz F., Roig A., Renau S., Felis C., Miró J.V.

Título: Evolución de los niveles de contaminantes traza en PM₁₀ en una zona de alta densidad industrial en proceso de implantación de las mejores técnicas disponibles

Tipo de participación: Ponencia

Congreso: **X Congreso de Ingeniería Ambiental - PROMA**

Publicación: en libro de comunicaciones

Lugar de celebración: Bilbao

Fechas: 3-5 octubre 2006

Autores: Querol X., Alastuey A., Moreno T., Viana M.M., Castillo S., Pey J., Rodríguez S., Cristóbal A., Jiménez S., Pallarés M., De La Rosa J., Artíñano B., Salvador P., Sánchez M., García Dos Santos S., Herce Garraleta M.D., Fernández-Patier R., Moreno-Grau S., Negral L., Minguillón M.C., Monfort E., Sanz M.J., Palomo-Marín R., Pinilla-Gil E., Cuevas E.

Título: Composición de material particulado y contribución de fuentes en España

Tipo de participación: Póster

Congreso: **X Congreso de Ingeniería Ambiental - PROMA**

Publicación: en libro de comunicaciones

Lugar de celebración: Bilbao

Fechas: 3-5 octubre 2006

Autores: Querol X., Minguillón M.C., Alastuey A., Monfort E., Mantilla E., Sanz M.J., Sanz F., Roig A., Renau A., Felis C., Miró J.V.

Título: La zona cerámica de Castellón: Definición de objetivos de mejora de la calidad del aire

Tipo de participación: Póster

Congreso: **V Seminario de Calidad del Aire en España**

Lugar de celebración: Santander

Fechas: 16-18 octubre 2006

Autores: Pandolfi M., Viana M., Querol X., Alastuey A., Minguillón M.C., Monfort E., Celades I.

Título: Inter-comparison of receptor models for source apportionment of particulate matter in an industrialized area in Eastern Spain

Tipo de participación: Ponencia

Congreso: **EGU General Assembly**

Lugar de celebración: Viena

Fechas: 24-29 abril 2007

Autores: Minguillón M.C., Querol X., Alastuey A., Monfort E., Mantilla E., Miró J.V.

Título: PM Levels, Composition and Evolution in a Highly Industrialised Area.
Objectives of Improvement

Tipo de participación: Póster

Congreso: **AGU Joint Assembly**

Lugar de celebración: Acapulco

Fechas: 22-25 mayo 2007