

Análisis de contribución de fuentes en PM10 y PM2.5 en un área de fondo urbano con influencia de emisiones industriales (Abanto, Vizcaya)



aireaAIRE

2005



EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO
INGURUMEN ETA LURRALDE ANTOLAMENDU SAILA
DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE
Y ORDENACION DEL TERRITORIO

 ingurumena.net

Documento: Análisis de contribución de fuentes en PM10 y PM2.5 en un área de fondo urbano con influencia de emisiones industriales (Abanto, Vizcaya)

Fecha de edición: 2005

Autor: A. Inza Agirre, M. E. Sánchez Lorda, M. Menéndez Martínez , L. A. Ortega Cuesta

Coordinador: J. I. Gil Ibarguchi

Servicio de Geocronología y Geoquímica Isotópica. Universidad del País Vasco

Propietario: Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Dirección de Planificación, Evaluación y Control Ambiental

ÍNDICE:

I.	Introducción y objetivos del estudio	p. 1
II.	Marco normativo	p. 4
III.	Localización, metodología y características del área de estudio	p. 13
IV.	Estudio gravimétrico del MPA Intercomparación de equipos	p. 19
V.	Relaciones entre concentración de partículas, contaminantes gaseosos y variables meteorológicas	p. 35
VI.	Caracterización química de los filtros estudiados	p. 81
VII.	Ánalisis de las causas de las superaciones	p. 95
VIII.	Conclusiones	p. 104
IX.	Referencias	p. 106
	Anexos (volumen II)	

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

A partir de la década de 1990, numerosos estudios epidemiológicos (Dockery et al., 1993; Dockery y Pope, 1996; Hoek et al., 2002; Pope et al., 2002) demostraron la existencia de efectos adversos para la salud derivados de la exposición puntual o prolongada a niveles elevados de material particulado atmosférico (MPA). Los estudios más recientes apuntan hacia las partículas de menor diámetro (partículas finas, con diámetro $< 2.5 \mu\text{m}$) como las causantes de la mayoría de las afecciones respiratorias. Siguiendo la misma línea de investigación sobre los posibles efectos adversos del material particulado atmosférico, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2001) y diferentes autores han demostrado la influencia del MPA sobre el balance radiativo global al producir un efecto de refuerzo positivo o negativo en función de la naturaleza de las partículas atmosféricas. Entre los efectos adversos adicionales del material particulado atmosférico se encuentran: la reducción de la visibilidad, la eutrofización y acidificación de los ecosistemas terrestres y acuáticos, y el deterioro de los materiales de construcción.

Las conclusiones alcanzadas por estos y otros autores han puesto de manifiesto la necesidad de llevar a cabo un control de la contaminación atmosférica producida por material particulado. Por ello, los diferentes Gobiernos han comenzado a desarrollar la legislación pertinente, siendo la primera de ellas la establecida por la Agencia americana de protección medioambiental, US-EPA, referente al ozono y material particulado en 1987 (revisión del *National Air Quality Standards*). En lo referente a la Unión Europea, en el año 1996 fue aprobada la Directiva 96/62/CE que dio lugar al desarrollo de la Directiva Hija 1999/30/CE sobre Calidad del Aire. Esta directiva ha sido transpuesta a la legislación española por medio del Real Decreto RD 1073/2002.

La citada normativa tiene como objeto, además de establecer los valores límite de la cantidad de material particulado, el de fijar también los umbrales para los contenidos de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y plomo en el aire, estableciendo los métodos de evaluación de los distintos contaminantes.

Las primeras investigaciones llevadas a cabo con vistas a la transposición de este Real Decreto revelaron el elevado grado de desconocimiento existente en relación a este tema en España. En particular, se comprobó la ausencia de información disponible y fiable acerca de: los niveles, la composición, el origen y las fuentes del material particulado en el territorio español.

I.a. Objetivos

En este contexto, el presente estudio tenía por objeto realizar un análisis de contribución de fuentes de emisión sobre los niveles de PM10 y PM2.5 (material particulado en suspensión inferior a 10 y 2.5 micras, respectivamente) en una zona de fondo urbano con influencia esporádica de las emisiones industriales de polígonos adyacentes. La estación de muestreo seleccionada

es una cabina instrumentada para el control de la calidad del aire de la red del Gobierno Vasco, concretamente la estación de Abanto.

Se intentarían obtener estimaciones de las contribuciones locales urbanas, industriales, del aerosol marino y de resuspensión de partículas naturales (tanto locales como de aporte externo). Ello permitiría a los responsables del control de la calidad del aire la adopción de las medidas adecuadas ante las exigencias de la nueva normativa sobre los niveles de inmisión de partículas de diferente corte granulométrico registradas en estaciones de control de la calidad del aire. Solamente sí se conoce este balance será posible el control del impacto ambiental de las emisiones locales.

El estudio realizado en Abanto se ha dividido en dos fases. La primera comprendía la obtención de series temporales sincrónicas de niveles de PM10 y PM2.5, mediante muestreo periódico con captadores de alto volumen MCV PM1025. Además, se ha realizado un estudio simultáneo de identificación de patrones de transporte atmosférico para cada día del tiempo de muestreo, así como de caracterización de las condiciones meteorológicas. Se han determinado retrotrayectorias para cada día mediante el modelo Hysplit, tomando como área receptora Abanto. Además, mediante simulaciones Skiron y NAAPS, mapas de índice de aerosoles TOMS y fotografías del Seawifs se han controlado los posibles aportes de contaminantes externos, con objeto de determinar las eventuales interferencias que enmascaren los aportes de las fuentes locales.

La segunda fase corresponde a la caracterización química de las partículas en suspensión (PM10 y PM2.5), así como la aplicación de modelos receptores para el estudio de la contribución cualitativa de fuentes. Estos son modelos basados en el tratamiento numérico de los resultados que, mediante análisis de componentes principales, detectan en una primera etapa, las fuentes principales de emisión con impacto en los niveles de PM10 y PM2.5.

Así pues, los objetivos generales del estudio planteado pueden resumirse del siguiente modo:

- *Lograr un mejor conocimiento de la situación en el entorno de la localidad de Abanto en relación con los niveles límite establecidos por la normativa vigente para el material particulado PM10 y la cantidad de plomo en el aire.*
- *Aportar datos sobre las características y, en la medida de lo posible, origen de las superaciones de dichos niveles registradas en las inmediaciones de dicha localidad.*

Ante la posibilidad de que la actividad de las empresas del entorno (refinerías, siderurgias, etc.) tuviese alguna relación con las superaciones, se diseñó una estrategia de muestreo de acuerdo con los responsables de la Administración que permitiese el estudio del contenido y la composición del material particulado atmosférico en el entorno de la estación de Abanto perteneciente a la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire del Gobierno Vasco.

Como resultado del estudio se debería llegar a tener un conocimiento más preciso de las características del material particulado en el área estudiada y obtener una aproximación cuantitativa a la contribución de las distintas fuentes en el contenido y composición del MPA.

I.b. Estructura del Informe

Los resultados que ahora se presentan corresponden al estudio de los filtros muestreados a lo largo de los meses de Diciembre de 2001 a Noviembre de 2002 en la estación de Abanto, así como del tratamiento de los datos de contaminantes para el mismo período procedentes de los equipos instalados en dicha cabina.

En el presente Informe se han incluido varios apartados sobre los aspectos generales y normativos del estudio planteado. Se ha considerado conveniente incluir estos apartados a fin de comprender mejor el alcance de los resultados del muestreo y de los análisis efectuados.

Así, el Informe consta de una parte inicial, donde se expone de manera general el marco normativo sobre la contaminación atmosférica por material particulado, junto con una descripción de los principales tipos de partículas presentes en la atmósfera, su composición y los principales emisores de las mismas. Posteriormente se describe la localización del área objeto de estudio así como la situación de las unidades de captación de partículas empleadas en el mismo para, a continuación, detallar la metodología empleada, tanto para el muestreo como en el análisis de las muestras recogidas.

En las secciones subsecuentes se exponen los resultados gravimétricos obtenidos y su comparación con los datos del captador automático de la misma estación, junto con los datos meteorológicos y de contaminación disponibles para las fechas del estudio. Se presentan, asimismo, los resultados de los análisis químicos correspondientes a cada una de las muestras estudiadas, junto con los resultados del análisis de los componentes principales sobre posibles fuentes y causas de superaciones. Con todo ello se extraen las conclusiones expuestas en el último apartado del presente informe. Cabe señalar, por último, que en el presente informe se han corregido diversos errores contenidos en el informe preliminar presentado en Febrero de 2003.

II. MARCO NORMATIVO

Hasta Julio de 2001, el control del material particulado en España se realizaba mediante las medidas de humos negros (HN) y partículas en suspensión totales o PST (Reales Decretos 1613/1985 y 1321/1992, BOE nº 219 y 289 de 12/9/85 y 2/12/92, respectivamente, como incorporación de las Directivas 80/779/CEE y 89/427/CEE a la legislación española). Desde esa fecha, se encuentra en vigor la directiva hija europea 1999/30/CE (que emana de la Directiva 96/62/CE del Consejo, de 27 de septiembre de 1996), transpuesta a la legislación española por el Real Decreto 1073/2002. Entre los principales objetivos de esta Directiva figura el de establecer nuevos estándares de calidad del aire para el material particulado. En España, la nueva legislación conlleva un cambio en el parámetro a medir, pasando de ser los HN y PST a ser el PM10, así como una mayor restricción en los valores límite permitidos (**Tabla II.1**).

Tabla II.1: Valores límite anuales y diarios, así como número de superaciones del valor límite diario, vigentes en España hasta Julio de 2001 y propuestos por la Directiva 1999/30/CE.

Directiva 1999/30/CE	Antigua Normativa	Normativas Actual y Futura	
	1992-2001	Fase I 2005	Fase II 2010
Parámetro de referencia	PST	PM10	PM10
Valor límite anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150	40	20
Valor límite diario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	300	50	50
Máximo Nº de días con superación VLD	18	35	7

VLD: valor límite diario

Junto a los nuevos parámetros y niveles límite, la Comisión Europea ha propuesto planes de reducción en las emisiones de partículas, así como de sus precursores gaseosos. Medidas similares han sido adoptadas en Estados Unidos a raíz de los estudios realizados por la US-EPA (Smith y Sloos, 1998). Dado que los estudios epidemiológicos apuntan a que los efectos perjudiciales del PM10 se encuentran principalmente localizados en la fracción de partículas finas ($< 2.5 \mu\text{m}$ o PM2.5), algunos países han comenzado ya a medir PM2.5 en sus redes de vigilancia de la calidad del aire (por ejemplo, Australia, Canadá o EEUU, incluso España aunque, por el momento, no de forma sistemática).

Según muestra la **Tabla II.1**, la nueva normativa es considerablemente más restrictiva que la que se encontraba vigente en España con anterioridad a la fecha indicada. En primer lugar, el cambio del parámetro de medida supone un mayor grado de control, concretamente de las emisiones de tipo antropogénico, ya que las partículas en suspensión totales (PST) cuentan con una importante fracción natural que se reduce en el PM10. Asimismo, la disminución de los niveles límite anual y diario es drástica: de una media de $150 \mu\text{g PST}/\text{m}^3$ anuales y $300 \mu\text{g PST}/\text{m}^3$ diarios en 2001, se pasa a $40 \mu\text{g PM10}/\text{m}^3$ anuales en 2005 y a $20 \mu\text{g PM10}/\text{m}^3$ anuales en 2010, con un valor límite diario de $50 \mu\text{g PM10}/\text{m}^3$. La diferencia entre el número de superaciones

del valor límite diario no es tan marcada (18 hasta 2001, 35 en 2005 y 7 en 2010), aunque ello se debe a la importante reducción del valor límite diario.

Influencia de los fenómenos naturales

El grado de cumplimiento de los valores límite diario y anual establecidos por la Directiva 1999/30/CE puede estar sujeto en ciertas regiones europeas a la influencia de determinados fenómenos naturales. La Directiva considera esta particularidad en su artículo 2.15, donde se define fenómeno natural como: “**las erupciones volcánicas, las actividades sísmicas, actividades geotérmicas, o los incendios de zonas silvestres, los fuertes vientos o la resuspensión atmosférica o el transporte de partículas naturales procedentes de regiones áridas**”.

En lo referente al incumplimiento del valor límite diario establecido durante periodos bajo la influencia de los citados fenómenos naturales, el apartado 5.4 de la Norma específica establece: “**cuando se superen los valores límite de PM10 a que se refiere la sección I del anexo III debido a concentraciones de PM10 en el aire ambiente producidas por fenómenos naturales, que supongan concentraciones considerablemente superiores a los niveles de fondo procedentes de fuentes naturales, los Estados miembros informarán de ello a la Comisión de conformidad con el apartado 1 del artículo 11 de la Directiva 96/62/CE y facilitarán la justificación necesaria para demostrar que dichos rebasamientos se deben a fenómenos naturales**”. En estos casos, los Estados miembros tendrán la obligación de ejecutar planes de actuación con arreglo al apartado 3 del artículo 8 de la Directiva 96/62/CE sólo cuando se rebasen los valores límite a que se refiere la sección I del anexo III por causas que no sean tales fenómenos naturales.

Consecuentemente, las superaciones del valor límite diario de PM10 registradas durante periodos en los que se demuestre la ocurrencia de uno de los fenómenos naturales contemplados en el artículo 2.15, podrán ser descontadas del cómputo final. En el caso de España, y en menor medida en la Comunidad Autónoma del País Vasco, el fenómeno natural que con mayor frecuencia incide sobre los niveles de material particulado atmosférico es el transporte de partículas de origen africano por medio de la intrusión de masas de aire procedentes del Norte de África. Estos mecanismos de aporte de material particulado africano, así como la metodología aplicada para su identificación se describen con más detalle en una sección posterior del Informe.

La Directiva 1999/30/CE establece también los valores límite de los contenidos en plomo (Pb) para la protección de la salud humana. Según esta normativa, el valor límite es de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, si bien en el momento de entrada en vigor de la misma tiene un margen de tolerancia del 100 % que debe reducirse de manera lineal entre el 1 de enero de 2001 y el mismo día del año 2005, cuando el margen de tolerancia será 0 %. Esto se traduce, para el año 2002 en que se realizó el muestreo, en un valor límite de $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de Pb.

La normativa establece también las directrices para la ubicación de los puntos de muestreo, las cuales en muchos casos pasan a ser las opuestas a las empleadas previamente para el estudio del material particulado. De manera general, en la normativa se propone la elección del punto de muestreo de modo que se evite la medición de microambientes. Además, deben cumplirse, en la medida de lo posible, otra serie de recomendaciones en cuanto a la microimplantación de las estaciones de muestreo, *debiendo situarse las estaciones al menos a 0,5 m del edificio más próximo, a una altura de entre 1,5 y 4 m, y no han de estar en las proximidades de fuentes de emisión*.

II.a. Características del material particulado atmosférico

El material particulado atmosférico se define como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera (Mészáros, 1999). El término material particulado atmosférico (MPA) es un concepto amplio que engloba tanto las partículas en suspensión como las partículas sedimentables (diámetro > 20 μm).

Las partículas atmosféricas pueden ser emitidas por una gran variedad de fuentes de origen natural o antropogénico. Respecto a los mecanismos de formación, las partículas pueden ser emitidas como tales a la atmósfera (**partículas primarias**) o bien ser generadas por reacciones químicas (**partículas secundarias**). Dichas reacciones químicas pueden consistir en la interacción entre gases precursores en la atmósfera para formar una nueva partícula por condensación, o entre un gas y una partícula atmosférica para dar lugar a un nuevo aerosol por adsorción o coagulación (Warneck, 1988).

Como resultado de esta variabilidad de fuentes y transformaciones, el MPA consiste en una mezcla compleja de compuestos de naturaleza orgánica e inorgánica con diferentes distribuciones granulométricas y composición química, ambas condicionadas por la composición de los gases que las rodean. Los niveles de material particulado se suelen expresar en forma de concentración de masa o número de partículas por unidad de volumen de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ o ng/cm^3).

La contaminación atmosférica por material particulado se define como la alteración de la composición natural de la atmósfera como consecuencia de la entrada en suspensión de partículas, ya sea por causas naturales o por la acción del hombre (Mészáros, 1999). La presencia de las partículas en la atmósfera, así como su posterior deposición, puede generar efectos tanto en el clima, en los ecosistemas como en los seres vivos (Aitken, 1880; Dockery et al., 1993; Schwartz, 1994 y 1996; Dockery y Pope, 1996; Arimoto, 2001). Con objeto de minimizar el impacto ambiental y en la salud es necesario poner en funcionamiento estrategias de control y reducción de las emisiones de material particulado atmosférico, aunque para que éstas sean efectivas deben realizarse de forma paralela a la reducción de las emisiones de gases precursores.

II.b. Tipos de partículas

Materia mineral

El material particulado mineral de origen natural constituye la fracción mayoritaria en cuanto a masa del aerosol atmosférico (44 % de las emisiones globales a nivel terrestre, Duce, 1995; IPCC, 1996). La emisión de partículas minerales se genera por medio de la acción de los vientos sobre la superficie terrestre, en forma de emisiones fugitivas. La mayor emisión a escala global de este tipo de partículas se produce en regiones áridas o semiáridas que se concentran en las latitudes comprendidas aproximadamente entre 10-35°N (donde se incluyen el Norte de África, Oriente Medio y Asia Central; Prospero et al., 2002). En zonas áridas ubicadas fuera de estas latitudes, como Australia o los desiertos de Atacama (Chile) o Kalahari (Botswana), no se registra la emisión significativa de material particulado mineral (Prospero, 1999).

La distribución granulométrica de este tipo de partículas, una vez emitidas en el área fuente, es relativamente constante y se concentra principalmente en tres modas de diámetros 1.5, 6.7 y 14.2 μm , respectivamente (Alfaro et al., 1998). Como se verá más adelante, estas partículas se caracterizan por su granulometría gruesa (si nos referimos a concentraciones básicas de material particulado). La abundancia relativa de partículas dentro de cada una de las modas depende de la velocidad del viento, de modo que, a bajas velocidades, se produce la resuspensión de las partículas de mayor diámetro, mientras que al incrementar la velocidad se emiten las partículas de menor diámetro. Al margen de la velocidad del viento, la emisión de las partículas de origen mineral depende de la superficie del suelo, de la humedad y la cobertura vegetal entre otros factores (Marticorena et al., 1997).

La composición química y mineralógica de estas partículas varía de una región a otra dependiendo de las características y composición de los suelos, aunque generalmente está constituida por calcita (CaCO_3), cuarzo (SiO_2), dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], arcillas [sobre todo caolinita, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, e illita, $\text{K}(\text{Al},\text{Mg})_3\text{SiAl}_{10}(\text{OH})$], feldespatos [KAISi_3O_8 y $(\text{Na},\text{Ca})(\text{AlSi})_4\text{O}_8$] y cantidades inferiores de sulfato cálcico ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y óxidos de hierro (Fe_2O_3), entre otros (Glaccum y Prospero, 1980; Schütz y Sebert, 1987; Adedokun et al., 1989; Avila et al., 1997; Caquineau et al., 1998). El origen de estas partículas es primario, ya que son emitidas directamente a la atmósfera.

En general, la composición del material particulado mineral transportado desde regiones desérticas suele estar enriquecida en arcillas, como consecuencia de su mayor tiempo de residencia atmosférica derivado de su menor diámetro de partícula y su morfología específica laminar (Pósfai y Molnár, 2000). Aunque la mayor parte de las emisiones de materia mineral es de origen natural, es necesario considerar la existencia de un número limitado de fuentes de material particulado mineral de origen antropogénico. Así, actividades como la construcción, la minería o la fabricación de cerámicas o cementos generan partículas minerales, ya sea a través de la propia actividad, o bien durante los procesos de manipulación y transporte de materias primas (emisiones fugitivas). El tráfico puede constituir también una fuente de

partículas minerales, en particular a través de la erosión del firme de rodadura (Querol et al., 2001).

Aerosol marino

El aerosol marino es el segundo tipo de partícula con mayor importancia en cuanto al volumen total de emisiones a escala global (38 % de las emisiones globales a nivel terrestre; IPCC, 1996). Al igual que el material particulado mineral, las partículas de aerosol marino poseen en su mayoría origen natural y son emitidas directamente a la atmósfera (partículas primarias). Existen dos mecanismos principales de formación de este tipo de partícula: (i) la ruptura de burbujas de aire que alcanzan la superficie de los océanos (**Figura II.1**), y (ii) la agitación de la superficie de los mares y océanos por acción del viento.

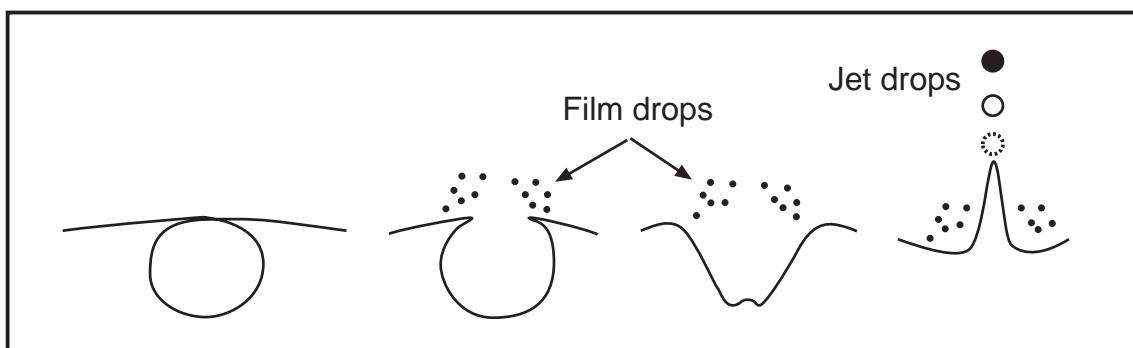


Figura II.1. Formación de partículas de aerosol marino por ruptura de burbujas de aire en la superficie de mares y océanos (según Warneck, 1988). El diámetro de las *Jet drops* oscila entre 2-4 μm , mientras que las *Film drops* son de diámetro $< 1 \mu\text{m}$.

El número de partículas de origen marino en la capa límite oceánica es así directamente proporcional a la velocidad del viento (Pósfai y Molnár, 2000).

La composición química del aerosol marino está relacionada con la del área fuente de origen: el agua de los mares y océanos. Consecuentemente, las relaciones entre los principales elementos presentes en el agua de los océanos descrita por Mészáros (1999) se observa también en el aerosol marino. Así, la fracción primaria del aerosol marino está compuesta principalmente por cloruro sódico (NaCl), aunque otras formas de cloruros y sulfatos también se encuentran presentes. Dado que los iones y compuestos mencionados son solubles en agua, el diámetro de partícula del aerosol marino en la atmósfera es dependiente de la humedad relativa.

Compuestos de Azufre (S)

Los sulfatos presentes en la atmósfera son generalmente partículas de origen secundario, ya que no son emitidos directamente a la atmósfera sino que se generan mayoritariamente como resultado de la oxidación de precursores gaseosos (principalmente SO_2). El diámetro de este tipo de partículas suele ser $< 1 \mu\text{m}$ (EPA, 1996). También existen fuentes naturales y antropogénicas de sulfatos primarios, como los yacimientos yesíferos o los procesos industriales de producción de ácido sulfúrico, y la producción y manipulación de productos minerales tales como el yeso.

Los compuestos de S representan aproximadamente el 7-10 % de las emisiones globales a nivel terrestre (IPCC, 1996). Los gases de origen natural, precursores de los sulfatos, son esencialmente emitidos a través de emisiones biogénicas y durante las erupciones volcánicas (Andrae y Crutzen, 1997).

Los sulfatos de origen no natural, por otra parte, constituyen la fracción principal del material particulado atmosférico antropogénico, y las emisiones antropogénicas a su vez se encuentran en el origen de entre 60-80 % del S en la atmósfera a escala global (Chuang et al., 1997).

La producción antropogénica de gases precursores de los sulfatos de origen secundario se centra esencialmente en procesos de combustión de combustibles fósiles con alto contenido en S, mayoritariamente carbón y fuel-oil en centrales térmicas y complejos industriales (la combustión de carbón supone aproximadamente un 60 % de las emisiones de sulfato antropogénico, mientras que el petróleo supone el 28 %, según Warneck, 1988).

Compuestos de Nitrógeno (N)

Los compuestos de N en la atmósfera (principalmente NO_3 y NH_4^+), al igual que los sulfatos, son de origen mayoritariamente secundario y provienen de la reacción de precursores gaseosos naturales y antropogénicos. Estos compuestos representan aproximadamente el 2-5 % de las emisiones globales a nivel terrestre (IPCC, 1996). El diámetro de las partículas atmosféricas resultantes suele ser también $< 1\mu\text{m}$ (EPA, 1996). Los compuestos nitratados de origen natural se suelen originar a partir de las emisiones de los suelos (nitrificación, N_2O), los incendios forestales (NO_2 , NO), las descargas eléctricas (NO) y las emisiones biogénicas (NH_3) (Seinfeld y Pandis, 1998). Las emisiones naturales de NO y NO_x a escala global constituyen sólo la tercera parte de las emisiones antropogénicas (Mészáros, 1993).

En cuanto a los precursores gaseosos de los nitratos de origen antropogénico, en la actualidad se conocen numerosas fuentes emisoras, entre las cuales destacan la producción eléctrica (combustión de gas, fuel-oil y carbón) y otros procesos de combustión a temperaturas elevadas (capaces de oxidar el N_2 atmosférico) tales como los que ocurren en los motores de los vehículos y la quema de biomasa. Los principales gases emitidos por fuentes naturales y antropogénicas son por lo tanto: NO, NO_2 , N_2O y NH_3 , cuya oxidación en la atmósfera tiene como resultado más frecuente la formación de ácido nítrico (HNO_3) (Warneck, 1988; Mészáros, 1999) y amonio (NH_4^+).

Compuestos de Carbono (C)

Los compuestos carbonosos comprenden una amplia variedad de especies naturales y antropogénicas de composición y estructura diversa, cuya característica común es la presencia de C en su composición. Para su estudio, se distingue generalmente entre carbono elemental (EC) y materia orgánica (OM), y se expresa la masa de carbono total (TC) como la suma de OM + EC.

Con frecuencia, y debido a su elevada capacidad de absorción de la radiación emitida (Sloane et al., 1991), el carbono elemental (grafítico) suele ser denominado *black carbon* (BC). Esta fracción suele ser emitida

directamente a la atmósfera (partículas primarias) por procesos de combustión incompleta (gas, carbón y/o fuel-oil) y, por tanto, su origen es esencialmente antropogénico. Los compuestos de carbono orgánicos, por otra parte, pueden ser emitidos directamente a la atmósfera (por fuentes naturales y antropogénicas) o formarse por condensación de compuestos orgánicos volátiles (COVs, también de origen natural o antropogénico). El término *soot* (hollín) es utilizado en ocasiones para denominar la suma de OM+EC primario, aunque este término no se encuentra bien definido en la actualidad (EPA, 1996; Pósfai y Molnár, 2000). Por último, es posible encontrar cantidades limitadas de carbono atmosférico en carbonatos (principalmente CaCO_3 y MgCO_3) naturales y/o antropogénicos. Los compuestos carbonosos representan aproximadamente el 2-5 % de las emisiones globales a nivel terrestre (IPCC, 1996).

La emisión de compuestos orgánicos de origen natural se produce esencialmente a través de la vegetación, la superficie de los océanos y los suelos, y puede dar lugar a partículas tanto primarias como secundarias en la atmósfera.

El material particulado carbonoso primario de origen antropogénico en la atmósfera tiene su principal fuente en la generación eléctrica (procesos de combustión). Sin embargo, es necesario considerar también la contribución de otras fuentes de origen industrial así como los aportes del tráfico. Dentro de las ciudades es necesario destacar las emisiones del tráfico y, en especial, las de los vehículos diesel, cuya contribución a los niveles de materia carbonosa es cinco veces superior a la de los motores de gasolina (Kim y Hopke, 2003).

En cuanto a las partículas de carbono antropogénico de origen secundario, aproximadamente el 50 % proviene de la evaporación de gasolina, la gasolina líquida y las emisiones de los vehículos (Watson et al., 2001). Asimismo, contribuyen a los niveles de OM la fabricación y manipulación de pinturas y disolventes.

II.c. Tamaño de las partículas

El tamaño de partícula es uno de los principales factores que inciden en la peligrosidad de las partículas atmosféricas en suspensión como contaminante del aire. Las partículas asociadas a cada fuente de emisión tienden a tener una composición química y tamaño determinados. En la **Figura II.2** se muestra una distribución idealizada de masa de partículas por tamaños, donde puede apreciarse la distinción entre “partículas finas” y “partículas gruesas”.

El modo o moda de partículas finas ($< 2,5 \mu\text{m}$) está principalmente formado por partículas secundarias, generadas mediante procesos de nucleación y condensación de sus precursores gaseosos. Entre las fases secundarias más importantes de este rango destacan los sulfatos y nitratos, originados a través de la oxidación de SO_2 y NO_x , y los aerosoles orgánicos secundarios, como el PAN (Peroxiacetil nitrato) o los HPA (Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos). Son pocas las fuentes que emiten MPA primario en el rango de las partículas finas. Tales emisiones están asociadas a procesos

rápidos de condensación de gases (previamente a la emisión) expulsados a altas temperaturas, o bien a procesos industriales de molienda y pulverización.

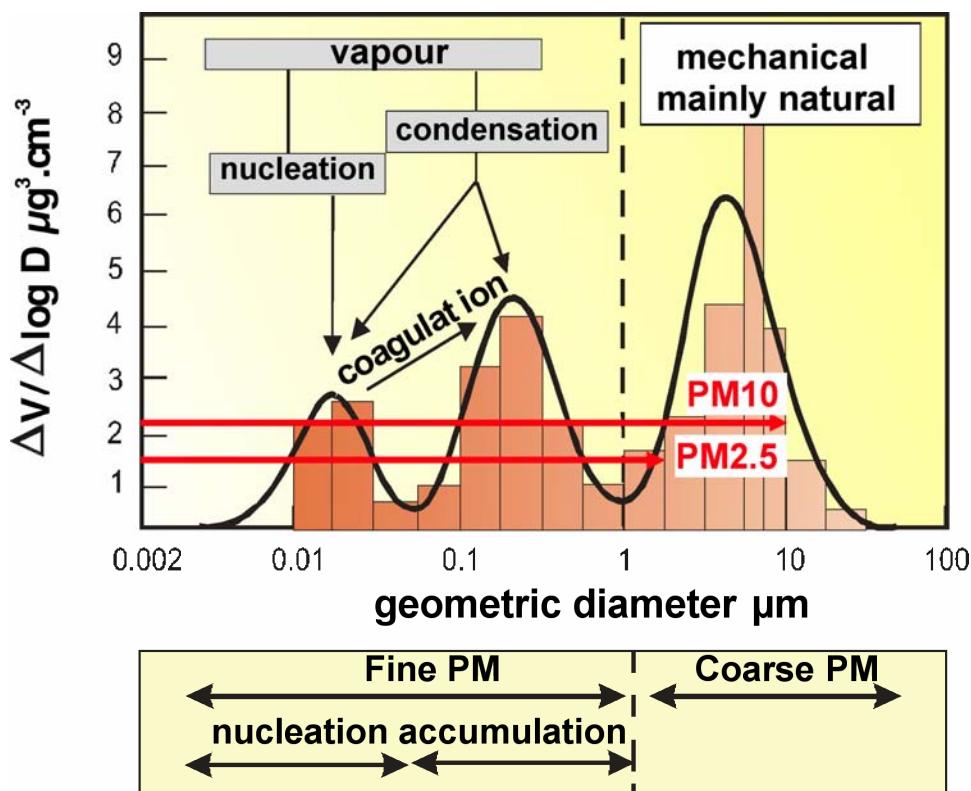


Figura II.2. Distribución idealizada de masa de partículas en función de su tamaño (Wilson y Suh, 1997).

Las partículas gruesas ($> 2,5 \mu\text{m}$) son básicamente primarias y se generan por procesos mecánicos y de evaporación. Los procesos mecánicos de reducción de tamaño encuentran su límite inferior en $1 \mu\text{m}$, por lo que no afectan a partículas inferiores a este tamaño. En este rango las fuentes más importantes son los aportes minerales crustales, ya sean locales o transportados a larga distancia, el aerosol marino, las partículas biológicas (restos vegetales) y las partículas primarias derivadas de procesos industriales o del tráfico (e.g., restos de neumáticos, frenos o asfalto). De entre las pocas partículas secundarias que se forman por encima de las $2,5 \mu\text{m}$, hay que destacar a los nitratos, cuya distribución granulométrica se extiende desde $1,0$ hasta $10 \mu\text{m}$, dependiendo de los cationes con los que se combine.

II.d. Principales emisiones de partículas

Según los datos de Brasseur et al. (1999), anualmente se emiten a la atmósfera entre 2.428 y $4.875 \cdot 10^6$ toneladas de material particulado de diámetro $< 25 \mu\text{m}$, de las cuales, entre 962 y $2.030 \cdot 10^6$ toneladas (alrededor del 40 %), poseen un diámetro $< 1 \mu\text{m}$.

De una manera general, las emisiones procedentes de fuentes naturales duplican aproximadamente a las de fuentes antropogénicas, aunque las diferencias se acortan en lo referente a las emisiones de PM1. Asimismo, dentro de las emisiones de origen natural predominan las partículas primarias,

concretamente aquellas de origen mineral y marino. En cuanto a las partículas de origen antropogénico, existe un mayor equilibrio entre las emisiones primarias y secundarias, principalmente debido a la contribución a las partículas primarias de los procesos de quema de biomasa y combustión en procesos industriales y de transporte (máximo de $220 \cdot 10^6$ toneladas/año).

En la **Figura II.3** (Second Position Paper on Particulate Matter, EC, 2003) se ha representado, en promedio para los 15 Estados Miembros, la contribución de siete de los principales sectores generadores de emisiones a los niveles de PM10 primario y de los principales precursores gaseosos (NO_x , SO_2), compuestos orgánicos volátiles no metánicos (NMVOC) y NH_3 .

Según estos resultados, a escala comunitaria las emisiones de PM10 vienen determinadas por los procesos industriales (29 %), el transporte por carretera (tráfico, 20 %) y “otras” (20 %), que representan, entre otros, los procesos de combustión en zonas residenciales (calefacción) y la agricultura.

Evidentemente, dentro de las ciudades estos porcentajes suelen variar significativamente y predomina la influencia del tráfico. Por otra parte, el 45 % de las emisiones de NO_x proviene del transporte por carretera, el 18 % de otros tipos de transporte y el 17 % de las plantas de producción eléctrica. El sector industrial es el principal responsable de las emisiones de SO_2 en los 15 países de estudio (86 %), distribuido entre la producción eléctrica (62 %) y los procesos industriales (24 %). Los compuestos orgánicos no metánicos son emitidos durante procesos de combustión (tráfico, 30 %) y “otras” procesos industriales (41 %), como por ejemplo la fabricación y manipulación de disolventes. Por último, las emisiones de NH_3 se producen de forma casi exclusiva a causa de la agricultura (94 %).

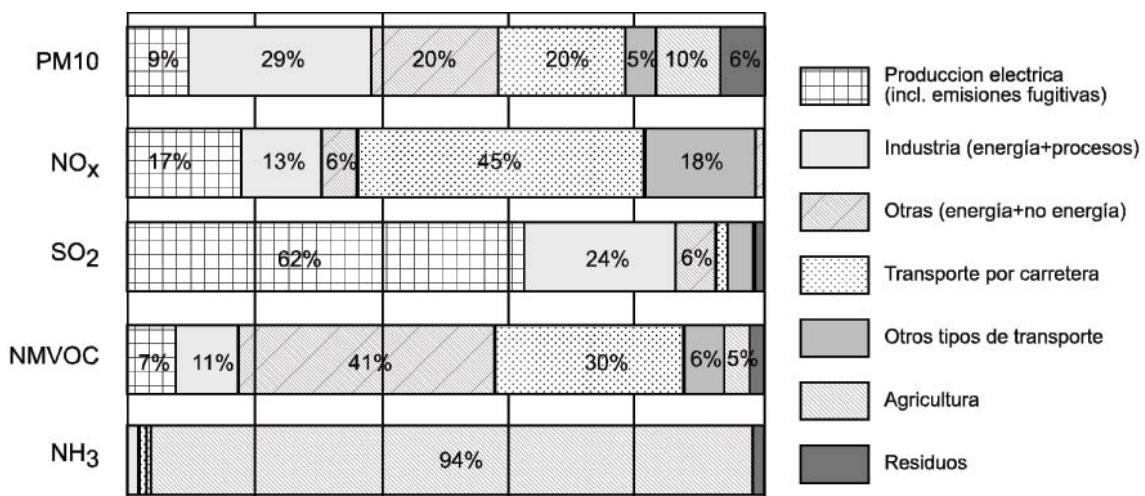


Figura II.3. Contribución media para los 15 Estados Miembros a los niveles de **PM10** y precursores gaseosos (EC, 2003). NMVOC: compuestos orgánicos volátiles no metánicos.

III. LOCALIZACIÓN, METODOLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

III.a. Zona de estudio

El área metropolitana del Gran Bilbao (Norte de España) engloba unos 20 municipios en los que viven cerca de 1 millón de personas, es decir, casi la mitad de los habitantes de la Comunidad Autónoma del País Vasco. A lo largo de ca. 16 km, dicha área ocupa el valle del bajo-Nervión con una orientación aproximada NO-SE.

El desarrollo de la industria en Vizcaya comenzó a finales de 1800 ligado a la abundancia de mineral de hierro y su exportación, principalmente hacia el Reino Unido. A pesar de la crisis del sector metalúrgico, sigue siendo en la actualidad una de las zonas más industrializadas de España. Las primeras ferrerías, cuyo objeto era la explotación y trabajo del hierro, ya estaban consolidadas en los siglos XII y XIII, pero es a mediados del siglo XIX cuando se produjo el gran empuje de la industrialización formándose una industria caracterizada por la concentración geográfica en la margen izquierda del río Nervión y la hegemonía del sector de la sidero-metalurgia. Además, la necesidad de exportar mineral y las industrias que en su orilla se situaron obligaron al encauzamiento del río Nervión, dándole la configuración que tiene hoy día.

En 1872 se puso en funcionamiento el primer alto horno del País Vasco y en 1901 se crearon los Altos Hornos de Vizcaya. Hoy día, las grandes industrias se han ido reconvirtiendo en empresas de menor entidad pero más especializadas y además de algunas metalúrgicas que aún siguen funcionando, cabe destacar la existencia en las cercanías al área de estudio de centrales térmicas, una refinería, así como industrias químicas dedicadas a la fabricación de ácidos sulfúrico, nítrico, fertilizantes, etc.

Justo en el extremo Noroeste del valle del Nervión, y muy próxima al mar, se encuentra situada la localidad de Abanto objeto del presente estudio (**Figura III.1**). Esta localidad, que cuenta con más de 8.000 habitantes, se encuentra situada en la provincia de Vizcaya a 43º de latitud norte y 3º de longitud oeste, a una altitud de 70 m sobre el nivel del mar.

III.b. Metodología

La red de Control de Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco estaba integrada en el año 2002 por 53 estaciones, localizadas principalmente en el área del Bajo Nervión-Ibaizabal debido a la alta densidad industrial. Estas estaciones están situadas en los principales núcleos de población, por lo que son emplazamientos de tipo urbano-urbano residencial, con influencia industrial.

La estación de Abanto podía considerarse, a priori, como residencial con influencia esporádica de emisiones industriales debido a la proximidad de un

polígono petroquímico de grandes dimensiones (Petronor) y una influencia menor del tráfico, ya sea local o relacionado con la autovía Bilbao-Santander (**Figura III.1**).

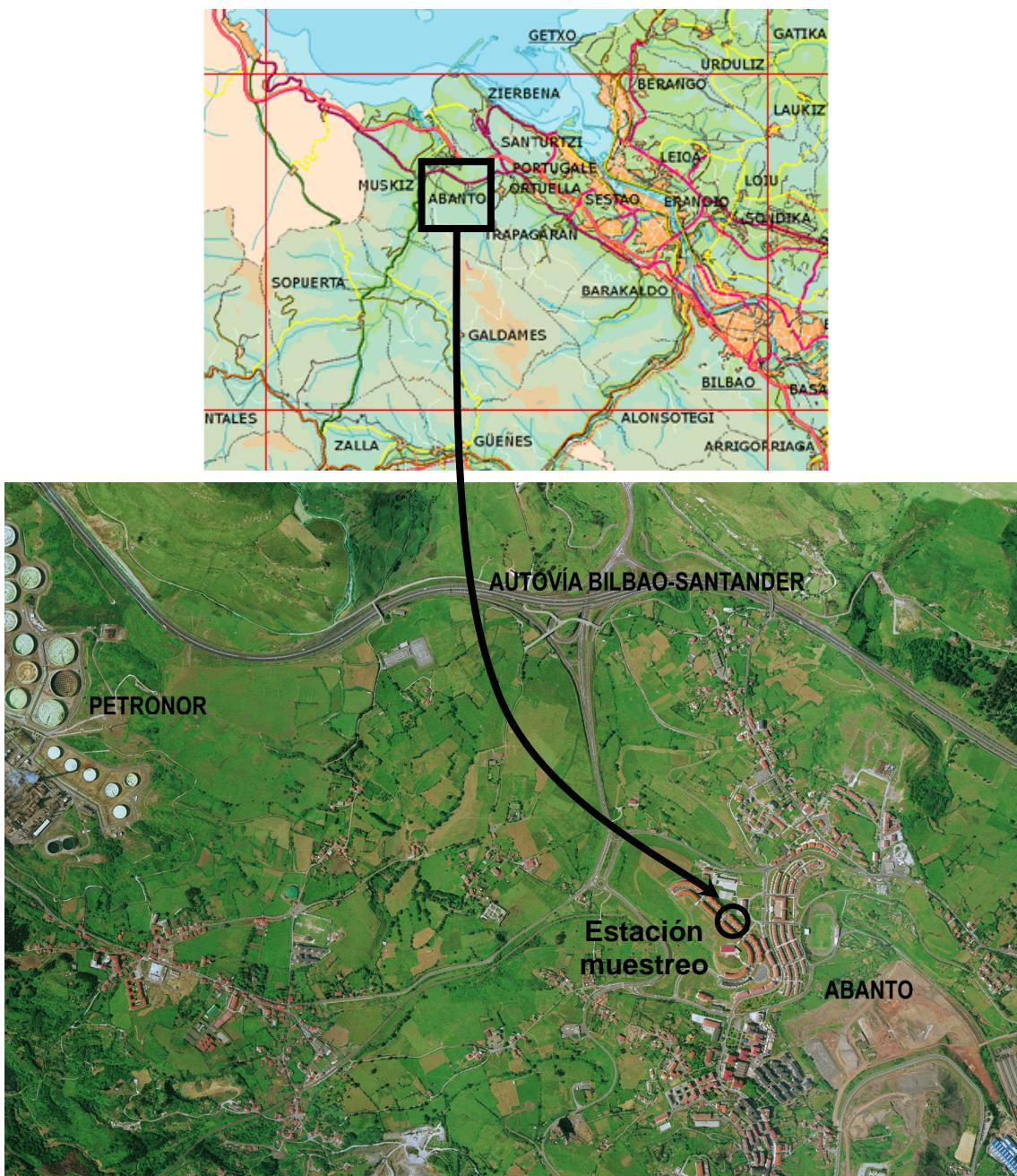


Figura III.1. Localización geográfica de la localidad de Abanto. Fotografías aéreas de la zona de estudio (fuente, páginas web de la Diputación de Vizcaya y del Gobierno Vasco).

Los edificios más próximos a la estación (**Figura III.2**) son viviendas de 3-4 plantas y el Ayuntamiento, un edificio de 4 plantas sobre cuyo tejado se encuentra situada una estación meteorológica del Gobierno Vasco. La carretera más cercana es la que discurre por el centro de la ciudad, se encuentra a una distancia de unos 40 m de la estación y apenas si presenta tráfico pesado. El Ayuntamiento, que es el edificio más próximo, se encuentra a una distancia de 15 m, quedando, por tanto, descartada cualquier posible

interferencia con las condiciones meteorológicas. La cercanía de este edificio, donde, además, tiene sede la policía municipal, aseguraba la protección frente al vandalismo. La cabina presentaba un buen estado exterior y estaba claramente identificada, permitiendo todo ello asegurar unas condiciones de seguridad óptimas para la instalación de nuevos equipos.

Por otra parte, la estación había venido presentando en los últimos tiempos un excelente grado de operatividad y estaba plenamente equipada con diversos sistemas de medida automáticos, tanto de gases contaminantes como de partículas. Los niveles promedios anuales de TSP durante el periodo 1995-2000 para la estación de Abanto fueron relativamente bajos, variando entre 31 y $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un valor medio de $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el total de los 6 años considerados. Mientras que los niveles medios de NO_x y SO_2 promedio de estos últimos seis años habían sido 71 y $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.



Figura III.2. Aspectos externo, interior y superior de la estación automática de la Red de Control de la Calidad del Aire del Gobierno Vasco situada en Abanto

A pesar de que los niveles promedio de PST se mantuvieron relativamente bajos en la estación de Abanto, es necesario reseñar que el número de superaciones en relación con las exigencias de la directiva CE/30/1999 es muy elevado. Así, por ejemplo, para el año 2000 el número de superaciones fue de 39, posiblemente debido a la influencia de la petroquímica o de algún otro foco cercano de contaminación.

Finalmente, hay que considerar su ubicación en la localidad de Abanto situada a una distancia de 15 km desde Bilbao, muy próxima a la autopista que une esta capital con Santander, por lo que desde el punto de vista del muestreo era fácilmente accesible.

A principios de diciembre de 2001, y con objeto de llevar a cabo el presente estudio, se instalaron en la cabina dos captadores MCV de alto volumen (MCV PM1025-CAV) con cabezales de corte PM10 y PM2.5. Además, la estación de Abanto es una cabina instrumentada para el control de la calidad del aire de la red del Gobierno Vasco que disponía del siguiente equipamiento: un equipo de medida de atenuación de la radiación Beta dotado de un cabezal PM10, equipos para la medida de contaminantes gaseosos (dióxido de azufre, ozono y óxidos de nitrógeno), junto con una estación meteorológica para medida de temperatura, humedad relativa y velocidad y dirección del viento.

Semanalmente se realizaron dos muestreos diarios consecutivos de PM10 y un muestreo de PM2.5 utilizando como soporte filtros de fibra de cuarzo. Los días de muestreo serían móviles y desplazados un día cada semana. El muestreo comenzó el 10 de Diciembre de 2001 y terminó el 26 de Noviembre de 2002 obteniéndose un total de 77 filtros de PM10 y 44 de PM2.5; dos filtros PM10 y 1 de PM2.5 sufrieron desperfectos, por lo que no se ha utilizado su pesada aunque sí se pudieron hacer los análisis químicos.

En síntesis, los métodos de trabajo más relevantes aplicados en la realización de este proyecto han sido:

- El análisis gravimétrico del material particulado a partir del muestreo en filtros.
- El estudio de series temporales a partir de los datos obtenidos mediante los muestreadores automáticos instalados en la estación de Abanto de la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire del Gobierno Vasco.
- El análisis químico del MPA recogido en los filtros.
- El análisis de contribución de fuentes y de las causas de las superaciones.

Los detalles técnicos sobre los métodos empleados en la realización de cada una de estas fase se describen más adelante en relación con cada apartado.

III.c. Dinámica atmósferica de la zona de estudio

Los datos disponibles indican que el clima de la zona es Templado-Húmedo, de variante oceánica occidental. Los vientos Norte y Noroeste son los predominantes e inciden en que las lluvias sean abundantes.

La dinámica atmósferica del País Vasco y del resto de la costa cantábrica se encuentra bajo la influencia dominante del anticiclón de las Azores y su movilidad a lo largo del año. Así, durante el invierno el anticiclón de las Azores se localiza sobre la costa portuguesa quedando el Golfo de Vizcaya expuesto al paso de sucesivos frentes asociados las borrascas atlánticas. Durante el verano el anticiclón asciende a latitudes mayores abarcando bajo su influencia el Norte peninsular y la mitad Occidental de la Península. Como resultado, en invierno se dan escenarios meteorológicos

para una mejor ventilación del País Vasco mediante el sucesivo paso de frentes y borrascas. Además, la curvatura cóncava del Golfo de Vizcaya favorece la ciclogénesis, de tal forma que hay borrascas que se forman en ella y, si llegan formadas, incluso se refuerzan en ella. Estas borrascas y frentes impiden la acumulación de partículas en suspensión (debido a la deposición húmeda y a la entrada de aire oceánico limpio).

Por el contrario, en verano la influencia del anticiclón sobre el Noroeste de la Península Ibérica favorece el desarrollo de circulaciones mesoescalares de brisas en toda la cordillera Cantábrica. La dinámica de estas brisas se desencadena por las diferencias de temperatura mar-tierra. La entrada de brisas de mar a tierra puede alcanzar grandes distancias hacia el interior de la Península arrastrando consigo contaminantes emitidos en latitudes superiores más cercanas a la costa.

Además, en presencia de un centro de altas presiones al norte (anticiclón escandinavo o británico) se puede registrar un transporte neto de las masas aéreas contaminadas procedentes del Norte, Centro y Este de Europa, que al ir desplazándose siguiendo la costa pueden interaccionar con las circulaciones locales (Millán et al., 1989).

Las condiciones ligadas a vientos del Sur suelen aparecer asociadas a profundas borrascas atlánticas situadas a bajas latitudes, pudiendo transportar aire del Norte de África hasta esta zona.

Otro aspecto a destacar en el escenario geográfico son los valles y las montañas que también generan una circulación térmica con "un ciclo diurno". Este hecho determina que la dispersión de contaminantes pase a depender del movimiento vertical del aire.

Todas estas peculiaridades suelen repercutir de manera notable en la calidad del aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Las **Figura III.3 y III.4** muestran la evolución horaria de la dirección del viento en la estación de Abanto durante los meses de Febrero y Abril de 2002. Puede apreciarse cómo existen dos patrones diferentes durante los períodos de otoño-invierno y primavera-verano.

Así, en Febrero las direcciones de los vientos se mantienen constantes a lo largo de todo el día en torno a una dirección N279-N315 que coincidiría, por tanto, con los vientos del noroeste, tan característicos de estas épocas del año, y que permiten una mejor ventilación de los contaminantes de la zona mediante el sucesivo paso de frentes y borrascas.

Sin embargo, a partir del 15 de Abril puede apreciarse cómo entre las 24:00 y las 10:00 horas (hora solar) los vientos procederían del sudoeste, es decir, del interior del valle del Nervión, mientras que a partir del mediodía se produce un cambio brusco de la dirección hacia Noroeste.

Esta situación, con desarrollo de circulaciones mesoescalares entre los meses de Abril y Octubre, es característica de toda cordillera Cantábrica e

induce la entrada de masas de aire de gran recorrido al interior de la Península arrastrando consigo posibles contaminantes desde la costa al interior.

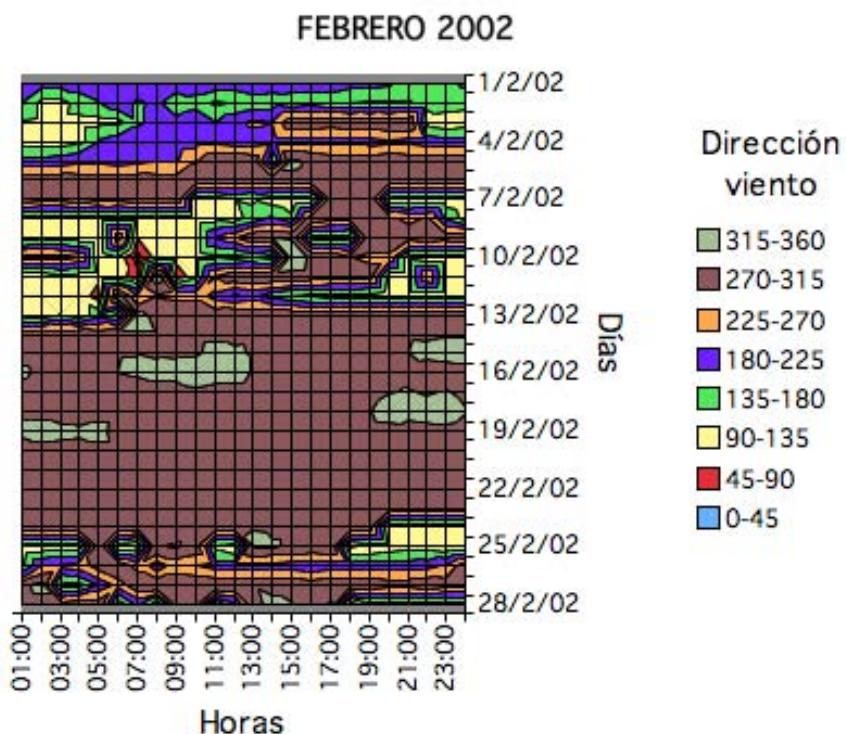


Figura III.3. Direcciones de los vientos registrados en la estación de Abanto durante el mes de Febrero de 2002 a lo largo de las diferentes horas de cada día.

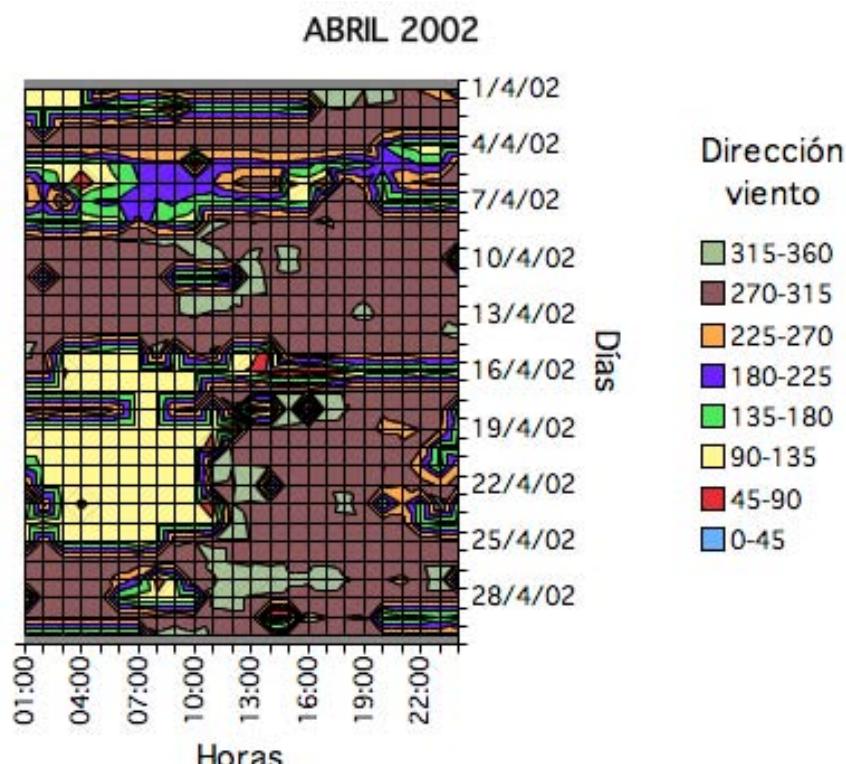


Figura III.4. Direcciones de los vientos registrados en la estación de Abanto durante el mes de Abril de 2002 a lo largo de las diferentes horas de cada día.

IV. ESTUDIO GRAVIMÉTICO DEL MPA

INTERCOMPARACIÓN DE EQUIPOS

IV.a. Introducción

La Directiva 1999/30/CE, primera Directiva Hija de la Directiva Marco de Calidad del Aire 1996/62/CE, requería que los Estados Miembros implementasen programas de medidas de material particulado en aire ambiente a partir del 19 de Julio de 2001, y presentasen anualmente los datos obtenidos con estos programas en la Comisión, así como que esta información fuese pública. La Directiva establece las metodologías y técnicas para medir niveles de partículas, bien sea utilizando la instrumentación del método de referencia o utilizando equipos que puedan demostrar su equivalencia a un instrumento de referencia.

A la hora de describir el método de muestreo y de medida de PM10, la Directiva 1999/30/EC remite a la norma EN12341. En términos generales, la metodología EN12341 está basada en la toma de la fracción de partículas inferiores a 10 μm (PM10) en suspensión en la atmósfera sobre un sustrato filtro usando uno de los siguientes aparatos:

- un sistema de Bajo Volumen: captador LVS-PM-10
- un sistema de Alto Volumen: captador HVS PM-10
- un sistema de Superalto volumen: captador WRAC-PM10

seguido de la determinación gravimétrica de la masa de material particulado recogido.

Sin embargo, la norma EN12341 no trata sobre los equipos de medida automática, tales como atenuación Beta o TEOM, comúnmente utilizados en las redes de control de calidad del aire. El uso de tales equipos de medida automática, simultáneamente con alguno de los equipos de referencia, proporcionaría un valor de intercomparación entre ambos equipos.

Entre las recomendaciones que hace el grupo de trabajo en Material Particulado, a fin de realizar la intercomparación entre los equipos candidatos y los equipos de referencia, cabe citar:

1. Debe haber, al menos, dos grupos de medidas para la intercomparación:
(i) un primer grupo debe ser realizado durante una estación fría (e.g. invierno) y, (ii) un segundo grupo realizado durante una estación cálida (e.g. verano).
2. El número mínimo de datos validados (pares de medias diarias) para verano e invierno no debe ser inferior a 30.

3. La correlación entre el equipo candidato y el del método de referencia será considerada válida si los resultados permiten obtener un coeficiente de correlación $r^2 > 0,8$.
4. Si las ecuaciones/factores de corrección son iguales o casi iguales para las dos estaciones, se podrá aplicar un único factor/ecuación de corrección para todo el año. El grupo de trabajo recomienda utilizar este único factor sólo cuando la diferencia de medias diarias corregidas con los dos factores/ecuaciones esté comprendida en un rango de <10 %.
5. Si son necesarios factores/ecuaciones de corrección estacionales (diferencias entre las medias diarias corregidas superiores al 10 %) se recomienda el uso de medias móviles de los factores/ecuaciones de corrección para evitar discontinuidades en las series temporales al cambiar de estación.
6. Es necesario que el Estado Miembro o Región compruebe que las ecuaciones/factores de corrección mantengan una relación lineal. En el caso de que las relaciones no sean lineares se recomienda utilizar ecuaciones de corrección en vez de factores de corrección.
7. Los Estados Miembro o Regiones deberán, en cualquier caso, revisar durante las operaciones rutinarias de la red que los factores/ecuaciones de corrección se mantienen estables una vez determinados.

De no obtenerse un factor de corrección, el grupo de trabajo en Material Particulado, tras analizar los datos disponibles, aconseja **la aplicación de un factor de corrección de 1,3** tanto para corregir las medias diarias como las medias anuales obtenidas mediante instrumentos TEOM o de atenuación Beta.

IV.b. Resultados de la Intercomparación de equipos para la estación de Abanto

El presente informe recoge los resultados obtenidos desde el 10 de Diciembre de 2001 hasta el 5 de Diciembre del 2002 para el estudio de intercomparación entre el equipo de referencia de medida de PM10 (captador de alto volumen MCV-CAV1025) y el equipo de atenuación Beta modelo FH 62 I-N Eberline (FAG), ambos de la red de control de calidad del aire del Gobierno Vasco instalados en la estación de dicha red sita en la localidad de Abanto.

Los datos del equipo Beta fueron suministrados por el Gobierno Vasco, mientras que los datos gravimétricos del equipo MCV se obtuvieron mediante la pesada en la Universidad del País Vasco de los filtros de cuarzo empleados en el muestreo.

Los resultados se presentan a continuación en forma de tabla (**Tabla IV.1**), en la que se especifican los siguientes datos:

Tabla IV.1. Resultados de la intercomparación BETA-MCV para la estación de ABANTO.

Periodo	N (válido)	Referencia PM ₁₀ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Automático PM ₁₀ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Ecuación Auto = a*Ref + b R^2	Ecuación origen Auto = a*Ref + b R^2	Factor media Ref/ media Autom
1 TODO	71	31,4 8	21,9 3	$y = 0,84x - 4,36$ $R^2 = 0,916$	$y = 0,73x$ $R^2 = 0,895$	1,37
2 DIC 2001	6	41,0 1	29,6 1	$y = 0,90x - 7,31$ $R^2 = 0,983$	$y = 0,78x$ $R^2 = 0,957$	1,28
3 ENE- MAR	19	30,1 2	22,0 0	$y = 0,81x - 2,46$ $R^2 = 0,863$	$y = 0,74x$ $R^2 = 0,856$	1,35
4 ABR- JUN	17	37,9 3	25,0 2	$y = 0,95x - 9,51$ $R^2 = 0,893$	$y = 0,72x$ $R^2 = 0,831$	1,39
5 JUL- SEP	18	25,5 1	17,8 0	$y = 0,81x - 3,20$ $R^2 = 0,901$	$y = 0,71x$ $R^2 = 0,884$	1,41
6 OCT- NOV	11	28,6 1	19,5 0	$y = 0,73x - 1,00$ $R^2 = 0,931$	$y = 0,70x$ $R^2 = 0,929$	1,43

1. Periodo: Periodo considerado.
2. N: Número de datos válidos.
3. PM10: Concentración Media de PM10 (en $\mu\text{g m}^{-3}$) del equipo REFERENCIA para el periodo considerado.
4. NS: Número de días con valores medios diarios superiores al límite diario establecido por la Directiva EC 1999/30 (50 $\mu\text{g PM 10 m}^{-3}$) obtenidos con el equipo AUTOMÁTICO.
5. PM10: Concentración Media de PM10 (en $\mu\text{g m}^{-3}$) del equipo AUTOMÁTICO para el periodo considerado.
6. NS: Número de días con valores medios diarios superiores al límite diario establecido por la Directiva EC 1999/30 (50 $\mu\text{g PM 10 m}^{-3}$) obtenidos con el equipo de REFERENCIA.
7. Ecuación de regresión obtenida a partir de las medidas del equipo AUTOMÁTICO y las del equipo de REFERENCIA ($y = ax + b$; donde y se refiere a los valores obtenidos con el equipo automático, x a los obtenidos

- con el equipo de referencia, y **b** a la ordenada en el origen), junto con el coeficiente de correlación (R^2).
8. Ecuación de regresión en el origen, obtenida a partir de las medidas del equipo AUTOMÁTICO y las del equipo de REFERENCIA ($y = ax$; donde **y** son los valores obtenidos con el equipo candidato y **x** los obtenidos con el equipo de referencia), y coeficiente de correlación (R^2) correspondiente.
 9. Factor: factor de correlación obtenido a partir de la relación (ratio) entre los valores obtenidos con el equipo de REFERENCIA y el AUTOMÁTICO.

A continuación se presentan las gráficas de correlación obtenidas para cada uno de los períodos considerados. En las gráficas de las **Figuras IV.1 a IV.6** se incluyen la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación, así como la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación obtenidos forzando a la ecuación a pasar por el origen.

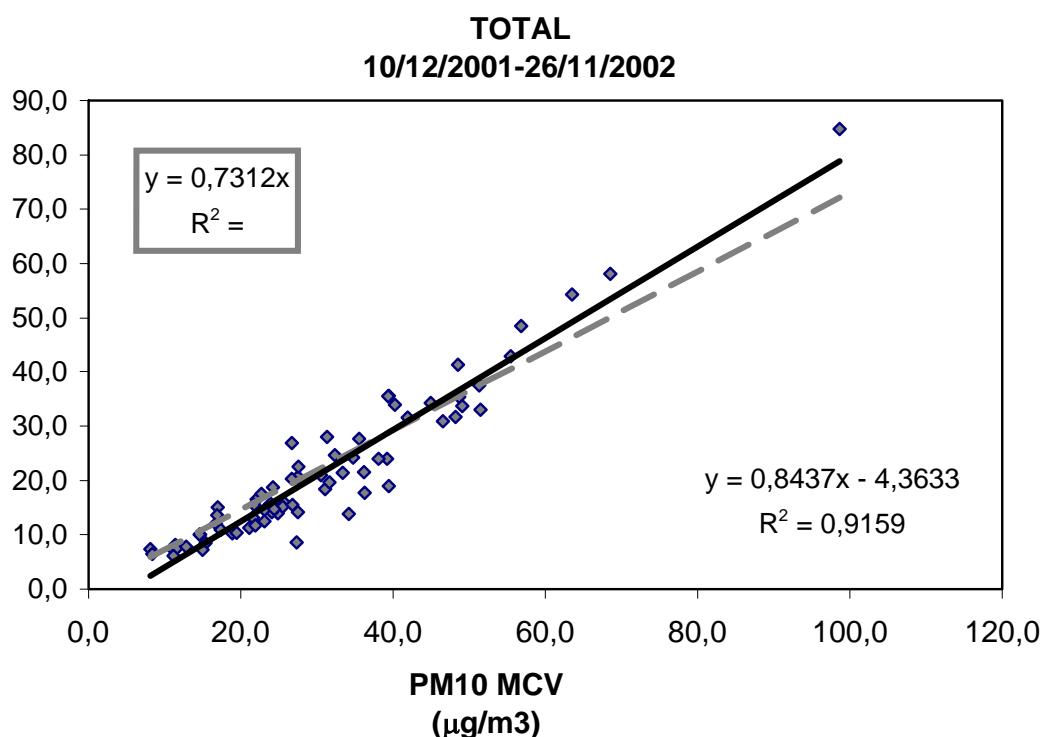


Figura IV.1. Representación gráfica de las medidas de PM10 del equipo Beta frente al equipo de referencia (MCV) de la estación de Abanto para el periodo del 10 de Diciembre de 2001 al 26 de Noviembre de 2002. Se indican los valores del coeficiente de correlación (R^2) y la ecuación de la recta de regresión. Datos no enmarcados y línea de trazos: regresión pasando por el origen.

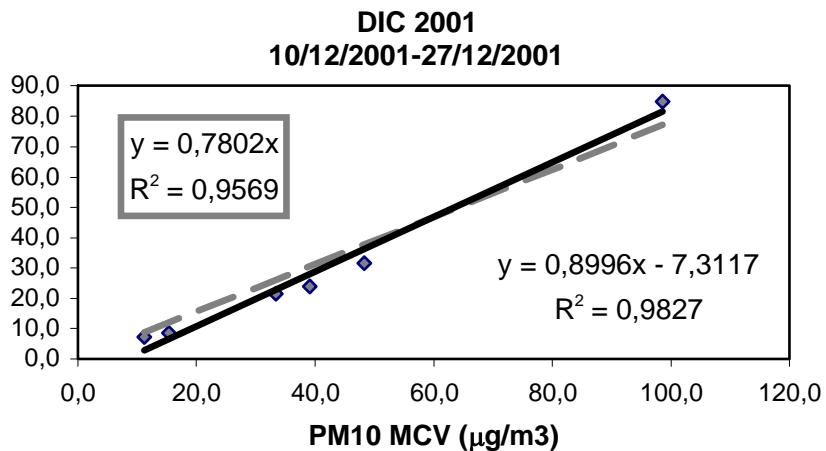


Figura IV.2. Representación gráfica de las medidas de PM10 del equipo Beta frente al equipo de referencia (MCV) de la estación de Abanto para el periodo del 10 de Diciembre de 2001 al 27 de Diciembre de 2001. Se indican los valores del coeficiente de correlación (R^2) y la ecuación de la recta de regresión. Datos no enmarcados y línea de trazos: regresión pasando por el origen.

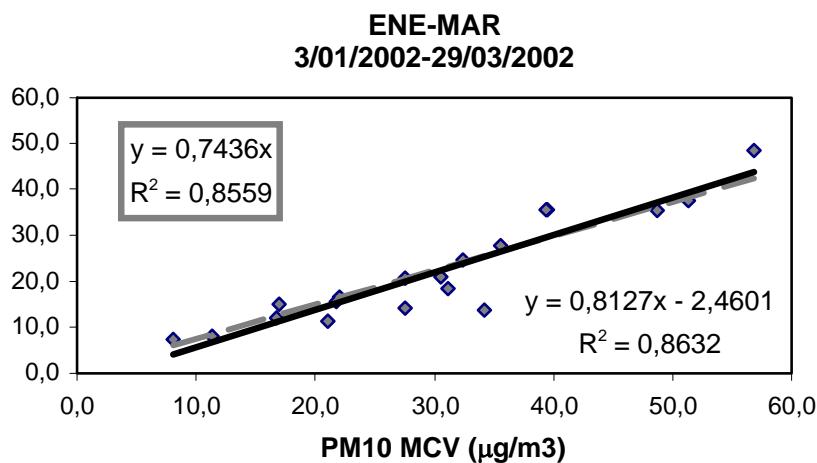


Figura IV.3. Representación gráfica de las medidas de PM10 del equipo Beta frente al equipo de referencia (MCV) de la estación de Abanto para el periodo del 3 de Enero de 2002 al 29 de Marzo de 2002. Se indican los valores del coeficiente de correlación (R^2) y la ecuación de la recta de regresión. Datos no enmarcados y línea de trazos: regresión pasando por el origen.

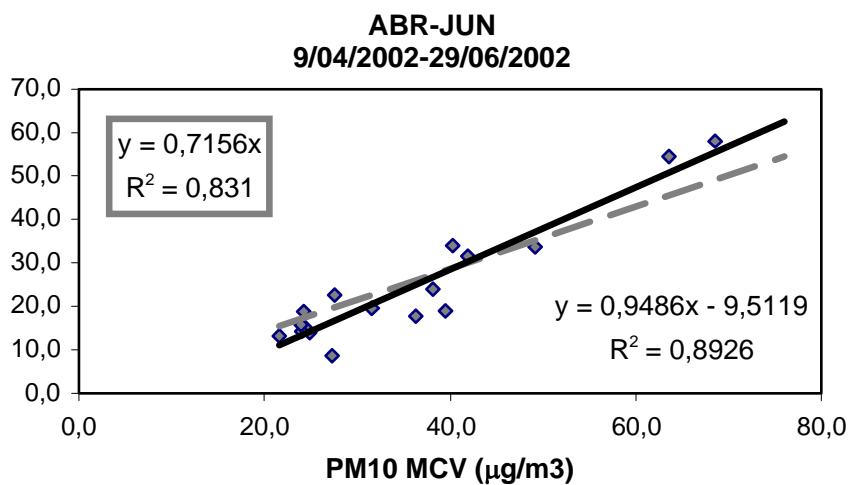


Figura IV.4. Representación gráfica de las medidas de PM10 del equipo Beta frente al equipo de referencia (MCV) de la estación de Abanto para el periodo del 9 de Abril de 2002 al 29 de Junio de 2002. Se indican los valores del coeficiente de correlación (R^2) y la ecuación de la recta de regresión. Datos no enmarcados y línea de trazos: regresión pasando por el origen.

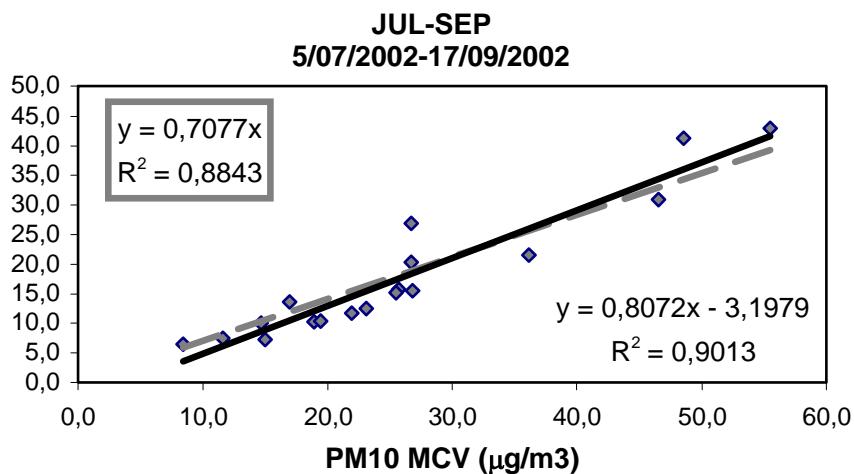


Figura IV.5. Representación gráfica de las medidas de PM10 del equipo Beta frente al equipo de referencia (MCV) de la estación de Abanto para el periodo del 5 de Julio de 2002 al 17 de Septiembre de 2002. Se indican los valores del coeficiente de correlación (R^2) y la ecuación de la recta de regresión. Datos no enmarcados y línea de trazos: regresión pasando por el origen.

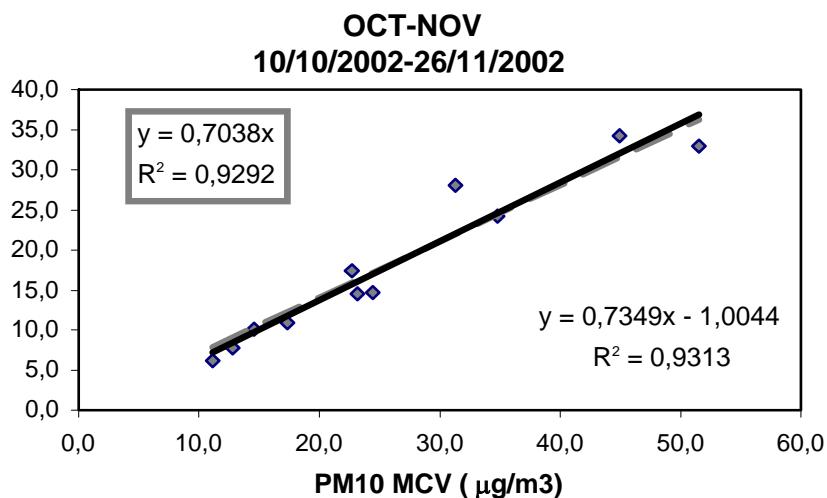


Figura IV.6. Representación gráfica de las medidas de PM10 del equipo Beta frente al equipo de referencia (MCV) de la estación de Abanto para el periodo del 10 de Octubre de 2002 al 26 de Noviembre de 2002. Se indican los valores del coeficiente de correlación (R^2) y la ecuación de la recta de regresión. Datos no enmarcados y línea de trazos: regresión pasando por el origen.

IV.c. Determinación del factor de intercomparación para la estación de Abanto

Como puede observarse en la **Tabla IV.1**, existe cierta variación estacional en los resultados obtenidos para el estudio de intercomparación en Abanto. Por lo que, a priori, podría considerarse más adecuado el uso de los factores correspondientes a cada estación del año a la hora de corregir los datos automáticos.

A fin de verificar este punto, a continuación se efectúa un nuevo tratamiento de los datos.

Los resultados de este tratamiento se presentan en la **Tabla IV.2** donde se indica lo siguiente:

1. Los datos obtenidos por el equipo automático Beta, corregidos mediante la aplicación de los distintos factores obtenidos en el estudio previo de intercomparación de equipos (el factor global y los factores estacionales).
2. Los datos gravimétricos obtenidos por el método de referencia (MCV) para su comparación con los resultados de las distintas correcciones.

Se analiza de este modo si el número de días de superación, obtenido mediante la corrección de los datos automáticos con el factor determinado, coincide con el número de días de superación obtenidos por el método gravimétrico.

Tabla IV.2: Datos (en $\mu\text{g m}^{-3}$) obtenidos por el equipo automático Beta, corregido por los distintos factores obtenidos en el estudio de intercomparación de equipos y datos gravimétricos obtenidos por el método de referencia para la estación de Abanto.

Fecha	PM10Auto	PM10 Auto corregido		PM10Ref
		10/12/01-5/12/02	10/12/01-27/12/01	
		Factor 1,37	Factor 1,28	
10/12/2001	21,4	29,3	27,4	33,4
11/12/2001	84,8	116,2	108,5	98,6
19/12/2001	24,0	32,9	30,7	39,2
20/12/2001	31,7	43,4	40,5	48,2
26/12/2001	7,2	9,8	9,2	11,3
27/12/2001	8,5	11,6	10,9	15,4
		10/12/01-5/12/02	03/01/02-29/03/02	
		Factor 1,37	Factor 1,35	
03/01/2002	12,0	16,5	16,3	16,8
19/01/2002	35,5	48,7	48,0	39,5
20/01/2002	15,0	20,6	20,3	17,0
04/02/2002	7,4	10,1	10,0	8,1
05/02/2002	13,8	18,9	18,6	34,2
12/02/2002	48,5	66,4	65,4	56,8
13/02/2002	37,5	51,3	50,6	51,3
20/02/2002	18,4	25,2	24,8	31,1
21/02/2002	21,0	28,7	28,3	30,5
28/02/2002	24,7	33,8	33,3	32,4
01/03/2002	20,7	28,3	27,9	27,5
08/03/2002	14,1	19,4	19,1	27,5
09/03/2002	11,3	15,5	15,2	21,1
16/03/2002	16,5	22,7	22,3	22,1
17/03/2002	8,1	11,1	11,0	11,4
25/03/2002	27,7	38,0	37,4	35,5
26/03/2002	35,4	48,5	47,8	48,7
28/03/2002	35,5	48,6	47,9	39,4
29/03/2002	15,5	21,2	20,9	21,8
		10/12/01-5/12/02	9/04/02-29/06/02	
		Factor 1,37	Factor 1,39	
09/04/2002	19,0	26,0	26,4	39,5
10/04/2002	13,9	19,0	19,3	24,9
17/04/2002	33,9	46,4	47,1	40,2
18/04/2002	19,6	26,8	27,2	31,6
25/04/2002	54,3	74,4	75,5	63,5
26/04/2002				76,0
03/05/2002	8,6	11,8	11,9	27,3
11/05/2002	15,1	20,7	21,0	24,4
12/05/2002	22,6	30,9	31,4	27,6
19/05/2002	24,0	32,8	33,3	38,1
20/05/2002	31,5	43,2	43,8	41,9
27/05/2002	14,2	19,5	19,7	24,0
28/05/2002	18,8	25,7	26,1	24,2
12/06/2002	37,0	50,7	51,4	

13/06/2002	58,1	79,6	80,7	68,6
------------	------	------	------	------

Tabla IV.2 (continuación 2): Datos obtenidos por el equipo automático Beta, corregido por los distintos factores obtenidos en el estudio de intercomparación de equipos y datos gravimétricos obtenidos por el método de referencia para la estación de Abanto.

Fecha	PM10Auto	PM10 Auto corregido	PM10Ref
20/06/2002	17,7	24,3	24,6
21/06/2002	33,7	46,2	46,9
28/06/2002	15,7	21,5	21,8
29/06/2002	13,2	18,1	18,4
	10/12/01-5/12/02	05/07/02-17/09/02	
	Factor 1,37	Factor 1,41	
05/07/2002	10,2	14,0	14,4
07/07/2002	20,3	27,9	28,7
14/07/2002	6,5	8,9	9,2
15/07/2002	15,8	21,6	22,3
22/07/2002	15,2	20,8	21,4
23/07/2002	11,8	16,1	16,6
30/07/2002	7,2	9,9	10,2
31/07/2002	10,1	13,8	14,2
07/08/2002		0,0	0,0
08/08/2002	13,6	18,7	19,2
15/08/2002	15,5	21,2	21,9
21/08/2002	10,3	14,2	14,6
22/08/2002	12,5	17,1	17,6
31/08/2002	7,5	10,3	10,6
01/09/2002	21,5	29,5	30,4
09/09/2002	30,9	42,3	43,5
10/09/2002	43,0	58,9	60,6
16/09/2002	41,3	56,6	58,3
17/09/2002	26,9	36,8	37,9
	10/12/01-5/12/02	10/10/02-05/12/02	
	Factor 1,37	Factor 1,43	
10/10/2002	14,6	20,0	20,9
11/10/2002			46,8
14/10/2002			37,0
18/10/2002	34,2	46,9	48,9
19/10/2002	14,7	20,2	21,0
23/10/2002	28,0	38,4	40,1
24/10/2002	7,8	10,7	11,1
30/10/2002	10,9	14,9	15,6
31/10/2002	24,2	33,2	34,6
03/11/2002	17,5	23,9	25,0
11/11/2002	33,0	45,2	47,1
12/11/2002	6,2	8,4	8,8
20/11/2002	10,0	13,8	14,4
26/11/2002	14,2	19,4	20,3
nº superaciones	3	8	8
media	21,9	29,6	31,4

Esto permite evaluar la fiabilidad de los datos corregidos mediante la aplicación del factor de corrección (sea este global o estacional, obtenido en el estudio previo de intercomparación), incluso en los días de elevada concentración de partículas PM10 (cf. **Tabla IV.2**).

Si el número de superaciones, deducido a partir de los datos corregidos, coincide con el número de superaciones obtenidas a partir del método gravimétrico, es lógico pensar que los datos automáticos corregidos reflejan de forma adecuada la realidad.

Para el caso de Abanto se observa que el PM10 corregido subestima la masa obtenida por el método gravimétrico, pero el número de días de superación obtenido a partir de los datos corregidos coincide con el número obtenido por el método de referencia.

Por otra parte, los resultados obtenidos para los distintos factores aplicados son muy similares (media y días de superación), por lo tanto, podremos trabajar con un solo factor para todo el periodo de muestreo, en lugar de con diferentes factores para cada estación. El factor único o global sería en este caso:

FACTOR PARA LA ESTACIÓN DE ABANTO = 1,37

IV.d. Comparación con otras estaciones: la estación de referencia de Llodio

A continuación se comparan los resultados anteriores con los de la intercomparación obtenidos para la estación considerada estación de referencia de Llodio durante el año 2001. En el caso de Llodio se utilizó un equipo de referencia de medida de PM10 de Alto Volumen Graseby-Andersen PM10 y el equipo de atenuación Beta modelo FH 62 I-N Eberline (FAG) de la red de control de calidad del aire del Gobierno Vasco.

En el caso de Abanto la intercomparación se ha realizado utilizando un total de 71 pares de datos. En el caso de Llodio el estudio de intercomparación recogía 105 pares de datos, las medidas del Beta habían sido suministradas por el Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco y las pesadas de los filtros fueron realizadas en el Instituto de Salud Carlos III, único centro del Estado acreditado para realizar este tipo de pesadas. Los resultados de ambos estudios de intercomparación se recogen en la **Figura IV.7**.

En ambos casos la regresión tiene un coeficiente de correlación (R^2) superior a 0,8 por lo que en ambos casos la intercomparación es válida. La ordenada en el origen es próxima a 6 en el caso de Llodio y cercana a 8 en el caso de Abanto. El factor de conversión obtenido para Llodio fue de 1,2 frente al 1,37 obtenido en el presente estudio. Ambos factores son similares a los obtenidos en otras regiones europeas, de hecho la Directiva establece que en

caso de que una región no realice su propia intercomparación deberá multiplicar todos los valores de sus equipos por un factor de 1,3.

En lo que sigue, en el presente estudio los datos del equipo Beta se han multiplicado por 1,2 ya que este es el valor obtenido con un equipo de referencia y en un laboratorio homologado (esto es, en base a Llodio). Pero, en cualquier caso, y si tenemos en cuenta que se trata de estaciones diferentes, equipos de medida diferentes (MCV vs. Andersen), laboratorios diferentes y periodos de tiempo distintos, podemos afirmar: (i) que los resultados gravimétricos incluidos en el presente estudio son comparables a los obtenidos en un laboratorio homologado y mediante un equipo de referencia tipo Andersen y, (ii) se confirma lo observado para otras estaciones de la Red (e.g., Basauri, Beasain) acerca de los buenos resultados suministrados por los equipos automáticos Beta del Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco.

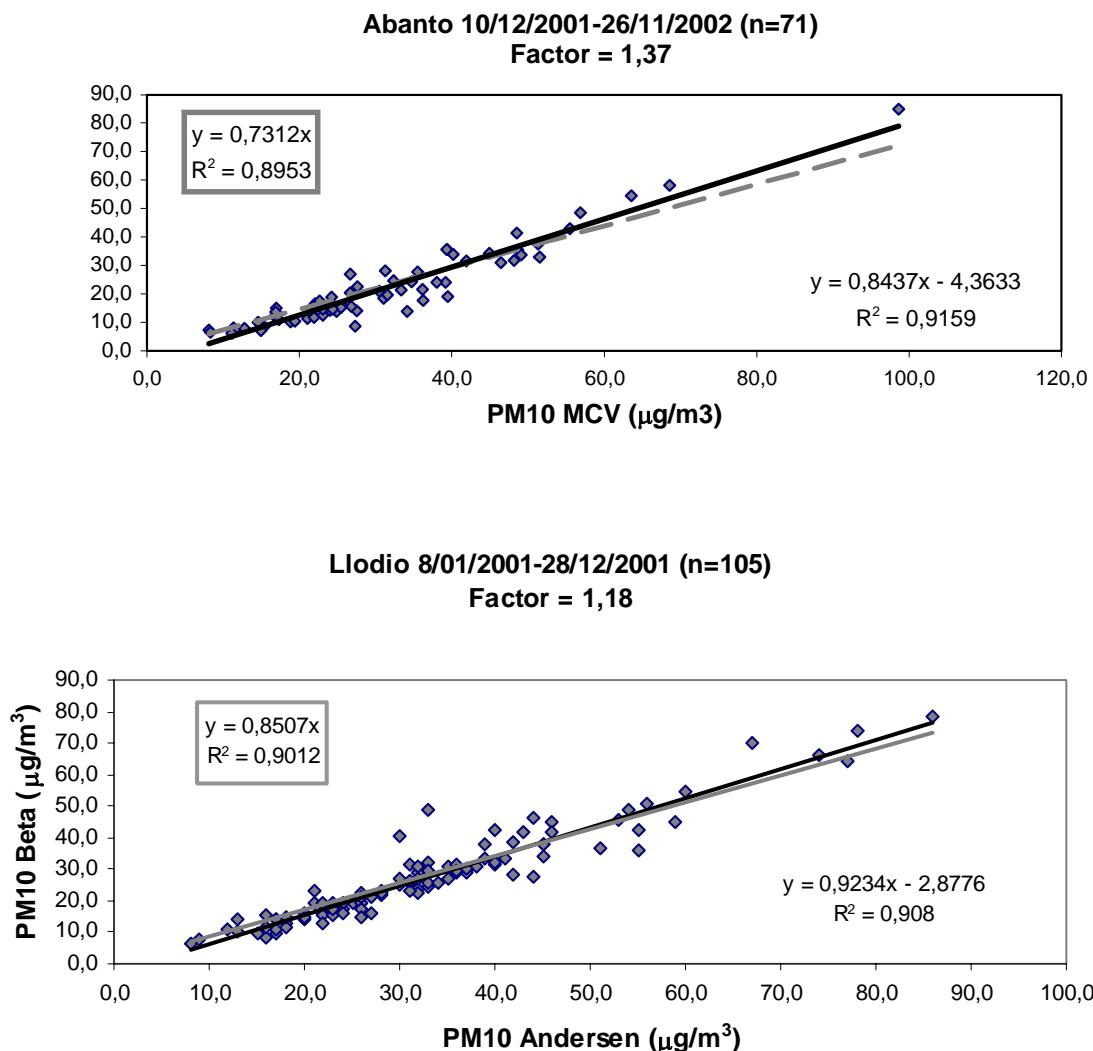


Figura IV.7. Intercomparación de equipos. Parte superior: MCV-Beta estación de Abanto (Diciembre 2001 a Diciembre 2002). Parte inferior: Andersen-Beta estación de Llodio (Enero a Diciembre 2001)

IV.e. Niveles de partículas

Los niveles de partículas registrados en la estación de Abanto durante el periodo de estudio fueron los siguientes:

- 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 y 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM2.5, determinados mediante el uso de equipos gravimétricos MCV de alto volumen. El número de medidas diarias ha sido 75/365 para PM10 y 43/365 para PM2.5, frente a los 90/365 y 45/365 planeados, debido a averías técnicas en la estación de muestreo. Por tanto, con una disponibilidad de datos del 83 % para PM10 y del 96 % para PM2.5 sobre el muestreo planeado.
- 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 mediante medidas automáticas en tiempo real con equipo de atenuación de la radiación Beta. Se trata ya de valores corregidos multiplicando por el factor de 1,2 (n= 364/365).

Los niveles de PM10 obtenidos mediante ambos métodos son muy parecidos, lo cual confirma la precisión y exactitud de las medidas así como la representatividad anual del muestreo realizado mediante el captador MCV de alto volumen.

Tabla IV.3. Niveles medios anuales de PM10 corregidos registrados en la estación de Abanto mediante un equipo de atenuación de la radiación Beta durante el periodo de estudio.

	PM10Beta	n > 50	N > 50 Sahara
Diciembre 2001	41	8	0
Enero 2002	27	2	1
Febrero 2002	24	3	3
Marzo 2002	32	6	6
Abril 2002	34	7	2
Mayo 2002	23	0	0
Junio 2002	29	3	2
Julio 2002	26	4	2
Agosto 2002	23	1	0
Septiembre 2002	39	8	0
Octubre 2002	29	3	1
Noviembre 2002	19	1	0
Promedio	29	46	17

n > 50: número de superaciones del valor límite diario establecido por el Real Decreto 1073/2002 (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). N > 50: número de superaciones debidas a la intrusión de masas de origen africano.

Los niveles obtenidos para la estación de Abanto se sitúan dentro de los rangos descritos para estaciones de fondo urbano del Estado (30-45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10, Querol et al., 2002). Con estos valores medios se cumpliría el valor

límite anual de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 establecido para el año 2005 por la Directiva CE/30/1999, pero se excedería el valor de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 previsto para el año 2010.

La Directiva CE/30/1999 establece además un número máximo de 35 superaciones del valor límite diario ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para el año 2005, que se reducirá a un máximo de 7 superaciones en el 2010. El número de superaciones en Abanto, tal y como muestra la **Tabla IV.3**, fue de 46, de las cuales sólo 16 fueron debidas a la intrusión de masas de aire africano con alto contenido en partículas.

Es decir, 30 superaciones deben ser consideradas como resultado de emisiones de origen industrial y/o urbano. El número de superaciones es bajo comparando con otras estaciones de fondo urbano de la Península. De nuevo, por tanto, Abanto estaría dentro del límite establecido para el 2005 por la Directiva, pero excedería el número máximo de superaciones para el 2010.

La variación estacional de los niveles de PM10 registrados en la estación de Abanto y la precipitación recogida en la estación de Sangroniz (aeropuerto de Sondika) durante el periodo de estudio quedan reflejadas en la **Figura IV.8**. Lo primero que hay que reseñar es que, al igual que en otras estaciones de la comunidad, los niveles de partículas son inversamente proporcionales a la precipitación, destacando el importante papel que juega la lluvia en el territorio de la Comunidad Autónoma en el lavado del material particulado atmosférico.

La variación estacional de los niveles de PM10 registrados en la estación de Abanto y la precipitación recogida en la estación de Sangroniz (aeropuerto de Sondika) durante el periodo de estudio quedan reflejadas en la **Figura IV.8**. Lo primero que hay que reseñar es que, al igual que en otras estaciones de la comunidad, los niveles de partículas son inversamente proporcionales a la precipitación, destacando el importante papel que juega la lluvia en el territorio de la Comunidad Autónoma en el lavado del material particulado atmosférico.

El mes con mayor concentración media de partículas corresponde al mes de Diciembre de 2001. Esto es debido a que entre el 11 y el 18 de Diciembre de 2001 el territorio del País Vasco se encontraba bajo la influencia de un anticiclón de estancamiento que impidió la ventilación de la contaminación local. La situación anticiclónica favoreció además la llegada de un episodio sulfatado de contaminación externa procedente del Centro de Europa.

Como consecuencia de todo lo cual se produjo un aumento de las concentraciones de material particulado atmosférico en todas las estaciones de Control de la Calidad del Aire de la CAPV. Además, y como consecuencia de las condiciones anticiclónicas, tampoco llovió en la Comunidad durante ese periodo, lo que hizo que el lavado de las partículas que normalmente se produce en esta región no tuviera lugar.

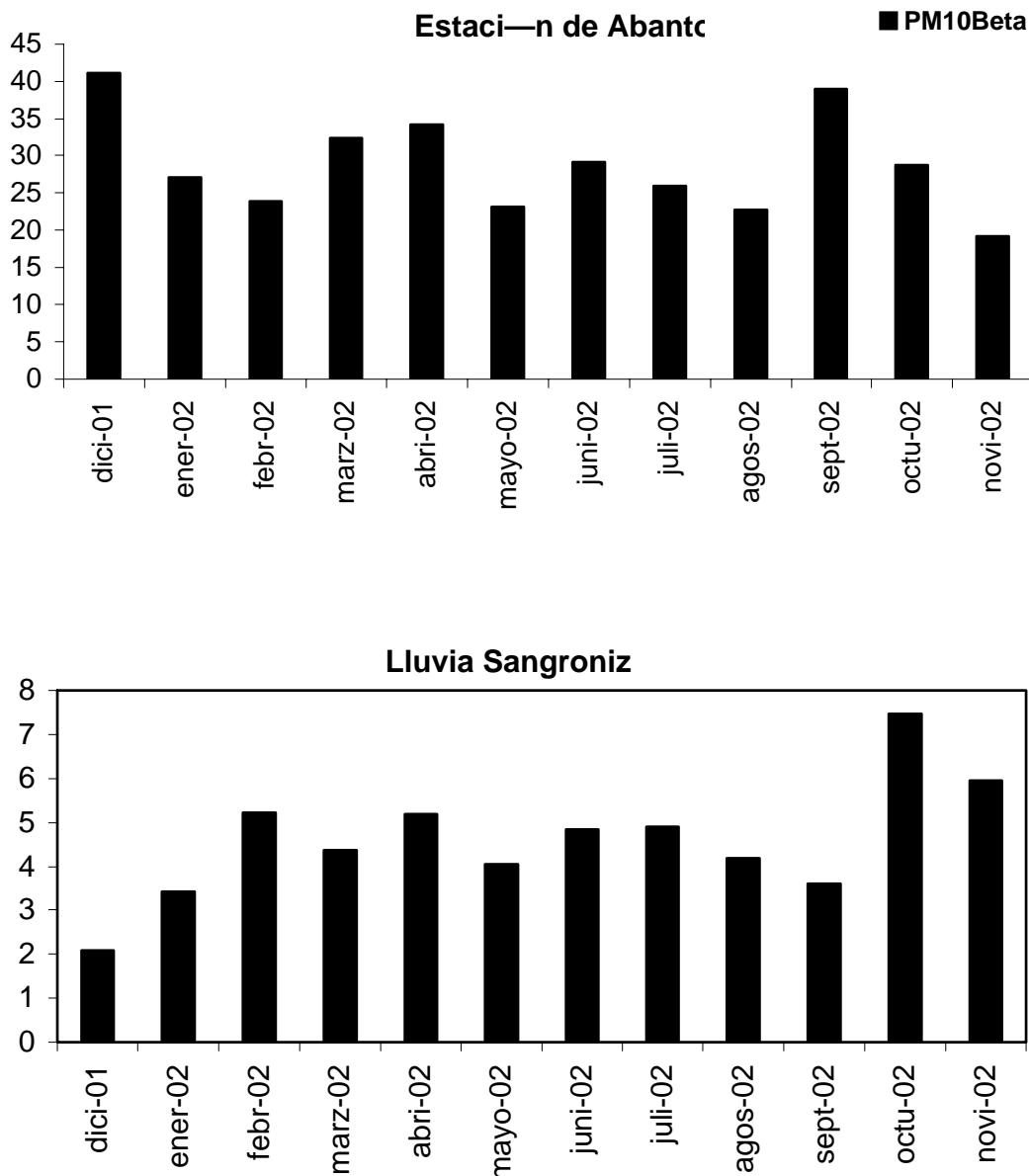


Figura IV.8. Variación estacional de los niveles de partículas durante el periodo de estudio. Precipitación registrada en la estación de Sangroniz (Aeropuerto de Sondika) durante el mismo periodo de tiempo. Datos suministrados por el Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco.

Durante los meses de Marzo y Abril se registraron niveles altos que, en parte, pueden ser asociados a episodios de contaminación externa. Así, durante el mes de Marzo, se produjeron varias intrusiones de masas de aire cargadas de partículas de origen africano que, sin duda, contribuyeron a aumentar los niveles de partículas registrados en Abanto (11-13 de Marzo, 20-24 de Marzo, 31 de Marzo-2 de Abril).

Durante el mes de Abril, en cambio, el País Vasco se encontraba bajo la influencia de un anticiclón de estancamiento, lo que propició la llegada de masas sulfatadas procedentes del centro de Europa (9-13 de Abril y 22-25 de Abril).

La suma de la contaminación externa y las condiciones de estabilidad impedirían la ventilación y el lavado de las partículas concentradas en la atmósfera provocando un aumento relativo de la concentración de material particulado.

En Junio, los altos niveles también aparecen relacionados con un importante número de incursiones saharianas (1-4, 12-18, 21-23 y 26-27 de Junio).

Durante los meses de Julio y Agosto se produjo un descenso de las concentraciones de material particulado debido a un mayor espesor de la capa de mezcla durante este periodo unido, probablemente, a unas menores tasas de emisión de las fuentes locales.

En el mes de Septiembre se produjo un brusco aumento de los niveles registrados en la estación de Abanto debido al aumento de las tasas de emisiones locales y del tráfico, unido a algún episodio sahariano (2-4 de Septiembre), un episodio europeo (26-28) y a una baja pluviometría.

Los valores más bajos se registran en Noviembre de 2002, mes en el que no se produjo ningún episodio de contaminación externa y en que, además, la alta pluviometría debió favorecer el lavado del material particulado atmosférico.

La **Figura IV.9** muestra la evolución estacional de la distribución granulométrica del material particulado atmosférico muestreado en la estación de Abanto. Si bien no hay demasiadas muestras, pueden hacerse una serie de consideraciones. En primer lugar, y en comparación con otras estaciones del País Vasco, destaca el hecho de que en Abanto como media anual el 63 % de la fracción de PM10 está constituida por PM2.5 frente, por ejemplo, al 74 % de Llodio para el 2001. Es decir, la granulometría en Abanto es ligeramente más gruesa.

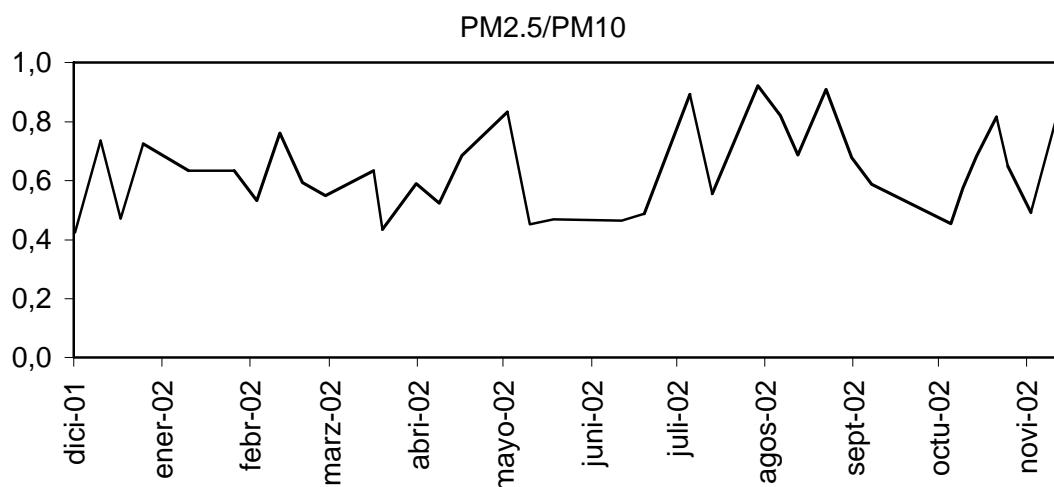


Figura IV.9. Evolución estacional de la distribución granulométrica del material particulado atmosférico muestreado en la estación de Abanto.

Teniendo en cuenta que las intrusiones saharianas han debido afectar a ambas aproximadamente de la misma manera, las diferencias observadas deben responder en gran parte a la mayor proporción en la estación de Abanto de aerosol marino que se concentra en las fracciones gruesas ($> 2,5 \mu\text{m}$) y, quizás, en menor medida, a la cercanía de las escombreras situadas a 2 km en dirección Sur-Sureste de la cabina (cf. **Figuras III.1** y, sobre todo, **VII.3**).

En cuanto a las variaciones estacionales, si exceptuamos el mes de Junio, se aprecia claramente cómo durante el periodo comprendido entre los meses de Abril y Septiembre la granulometría de las partículas es más fina con valores medios del 80 % de PM2.5 en PM10.

El mes de Junio de 2002 se caracterizó por un gran número de intrusiones de origen sahariano, lo que sin duda dio como resultado el aumento de la fracción gruesa. Para el resto de los meses de primavera-verano sorprende la granulometría fina en relación con los meses de invierno, ya que es opuesta a la observada en otras zonas de la Península Ibérica, tales como Barcelona o Canarias, en las que el desarrollo de procesos convectivos favorece la resuspensión de las partículas minerales de granulometría gruesa (Querol et al., 2001 y 2002).

En la **Figura III.3** (cf. Capítulo III) se mostraba cómo a principios de Abril se desacoplan las capas altas y bajas de la atmósfera produciéndose el desarrollo de fenómenos mesoescalares tales como las brisas. Durante el periodo de primavera-verano, la estación de Abanto se encuentra bajo la influencia durante la noche de vientos del Suroeste frente a los característicos del Noroeste que afectan a esta zona durante el resto del día y los meses de otoño-invierno. Desde Abril a Octubre, por tanto, por un lado la influencia del aerosol marino en Abanto y, por otro, la llegada de masas contaminantes del gran Bilbao de procedencia industrial favorecen ambas una disminución del tamaño de grano relativo.

V. RELACIONES ENTRE CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS PM10 (BETA), CONTAMINANTES GASEOSOS Y VARIABLES METEOROLÓGICAS

V.a. Resultados totales de PM10 (Beta) y contaminantes gaseosos

En las **Tablas V.1a** a **V.1h** se presentan los resultados de PM10 (Beta) y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Abanto durante el periodo de realización del estudio (Diciembre de 2001 a Noviembre de 2002). Los datos han sido suministrados por el Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco.

Tabla V.1a. Niveles de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Abanto.

Fecha	PM10 Beta	NO	NO2	O3	SO2	T °C	Humedad	Dirección viento	Velocidad viento
1/12/01	23,8	25,1	29,6	13,9	16,7	10	87	213	1,4
2/12/01	24,4	19,5	31,3	16,2	22,1	12	87	184	1,7
3/12/01	54,0	80,3	44,1	8,6	26,7	11	97	210	1,9
4/12/01	27,0	27,2	33,5	9,5	19,9	11	76	265	1,3
5/12/01	75,1	126,7	58,4	3,0	36,9	11	85	180	1,3
6/12/01	72,1	75,0	51,8	0,5	34,3	12	98	153	1,1
7/12/01	14,8	9,8	28,2	21,7	12,7	12	97	230	1,3
8/12/01	37,3	28,5	40,4	10,9	21,3	9	90	109	2,2
9/12/01	24,2	6,2	19,3	24,9	12,9	10	81	111	4,2
10/12/01	21,8	5,3	20,3	38,1	12,6	10	66	132	5,8
11/12/01	33,5	41,3	42,8	24,0	20,6	9	68	115	3,1
12/12/01	89,4	101,7	72,8	4,8	40,6	5	93	156	1,8
13/12/01	58,6	74,3	55,0	5,3	28,8	6	97	146	1,3
14/12/01	14,3	2,6	15,3	32,8	12,8	3	78	211	3,4
15/12/01	26,5	23,0	35,0	15,8	19,5	1	85	198	1,4
16/12/01	34,1	35,9	45,9	9,6	20,1	4	89	122	1,3
17/12/01	55,4	54,3	51,9	6,0	22,7	3	92	119	2,3
18/12/01	38,0	49,5	46,5	16,0	18,7	2	88	198	2,3
19/12/01	18,9	8,6	29,4	26,3	17,0	6	76	240	2,0
20/12/01	32,1	33,8	55,9	8,1	27,6	4	95	167	1,4
21/12/01	71,4	130,5	73,7	1,3	25,5	3	92	121	1,5
22/12/01	65,0	73,8	56,6	7,0	23,8	3	85	148	1,3
23/12/01	18,2	13,6	33,0	22,0	25,3	3	84	143	2,7
24/12/01	35,1	50,5	52,6	7,3	17,0	0	87	117	1,9
25/12/01	18,0	23,0	39,7	14,7	16,3	1	76	180	1,9
26/12/01	9,2	1,5	16,6	35,3	11,1	7	85	302	4,4
27/12/01	6,9	2,1	16,6	34,9	10,0	8	84	297	3,2
28/12/01	18,3	4,2	25,0	21,2	17,0	8	75	303	2,2
29/12/01	17,7	6,3	25,6	27,2	24,7	9	64	254	1,5
30/12/01	19,5	11,6	33,0	10,6	17,1	9	97	182	1,9
31/12/01	8,7	4,4	22,7	29,5	12,7	4	94	106	4,4

Tabla V.1b. Niveles de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Abanto.

Fecha	PM10 Beta	NO	NO2	O3	SO2	T °C	Humedad	Dirección viento	Velocidad viento
1/1/02	18,2	3,1	16,3	22,0	13,3	8	84	107	5,0
2/1/02	6,7	2,7	13,3	41,4	10,1	10	76	141	8,6
3/1/02	10,0	12,1	73,9	28,5	12,2	12	82	205	3,5
4/1/02	24,2	50,7	50,0	16,0	17,6	11	89	126	3,6
5/1/02	9,3	2,3	22,8	37,4	11,8	11	74	143	2,6
6/1/02	9,3	1,7	20,8	35,1	9,8	10	75	172	2,2
7/1/02	27,8	32,5	47,0	16,2	15,3	8	81	213	1,7
8/1/02	24,8	16,8	29,7	21,9	12,7	7	74	135	3,3
9/1/02	18,7	12,8	38,2	19,5	12,4	9	68	233	1,8
10/1/02	29,6	18,0	47,6	15,8	16,3	9	73	171	1,8
11/1/02	79,9	109,8	79,8	6,9	31,7	9	69	125	1,9
12/1/02	30,9	2,5	27,4	30,6	13,4	13	52	165	2,5
13/1/02	30,6	4,1	28,3	22,4	18,8	12	82	244	1,5
14/1/02	26,6	46,2	49,8	13,8	21,9	11	98	247	2,2
15/1/02	14,9	5,9	21,0	28,6	15,1	9	93	280	5,4
16/1/02	10,5	8,1	33,8	23,8	17,3	8	98	293	3,1
17/1/02	28,6	50,2	46,9	7,6	18,4	8	91	189	1,8
18/1/02	42,3	101,3	63,3	2,4	22,7	9	97	155	1,2
19/1/02	21,9	17,8	26,7	19,5	15,7	9	96	248	2,5
20/1/02	28,0	12,2	22,4	20,6	14,8	10	67	170	1,6
21/1/02	10,4	1,7	9,0	36,6	7,7	12	52	202	3,7
22/1/02	8,7	2,4	8,5	34,7	10,7	10	62	228	4,2
23/1/02	6,8	1,2	4,5	37,4	7,4	15	53	215	4,3
24/1/02	14,5	5,3	23,7	24,2	22,4	11	69	282	3,5
25/1/02	18,9	4,3	18,6	25,3	16,4	13	68	198	3,4
26/1/02	9,5	1,0	4,0	39,7	7,4	15	54	200	6,8
27/1/02	12,5	1,7	10,5	34,0	10,0	16	54	200	3,9
28/1/02	31,4	45,0	43,3	13,5	25,0	14	67	168	3,3
29/1/02	36,3	24,5	41,0	13,1	18,1	16	51	142	2,2
30/1/02	38,7	14,0	32,3	21,9	15,8	17	43	138	3,6
31/1/02	18,3	6,2	20,3	24,5	23,2	11	77	256	4,1
1/2/02	8,5	1,2	2,4	43,3	5,7	15	40	196	7,4
2/2/02	12,2	2,0	7,9	43,5	7,8	17	26	151	5,9
3/2/02	18,7	1,5	12,4	33,5	10,3	14	54	201	5,0
4/2/02	14,4	1,6	9,5	31,7	10,7	12	59	188	6,1
5/2/02	10,2	7,2	17,5	23,1	24,9	12	77	258	5,3
6/2/02	14,9	3,1	14,2	27,5	49,5	8	84	297	9,9
7/2/02	16,5	18,0	33,0	15,1	27,6	10	92	204	2,0
8/2/02	32,8	49,7	40,0	6,0	23,7	12	89	167	1,5
9/2/02	32,3	26,8	26,3	10,6	30,3	12	86	201	2,4
10/2/02	18,8	7,5	21,8	20,7	24,2	12	89	182	1,7
11/2/02	43,7	41,3	43,1	6,3	23,5	11	90	192	2,7
12/2/02	44,5	49,6	49,1	11,2	22,0	14	63	154	1,8
13/2/02	55,2	15,2	30,3	20,7	35,2	12	79	260	5,2
14/2/02	13,0	1,1	4,5	34,9	6,9	8	81	308	9,8
15/2/02	13,8	1,7	8,0	26,5	7,8	7	83	315	8,2
16/2/02	12,5	0,8	10,3	24,7	10,9	7	76	311	4,3
17/2/02	12,7	0,8	11,8	24,6	11,4	7	83	302	3,5
18/2/02	9,8	1,8	17,7	26,5	17,7	8	82	305	5,3
19/2/02	13,8	2,3	14,7	28,4	12,2	8	79	305	3,9
20/2/02	12,5	2,1	12,3	28,0	31,0	10	77	298	7,0
21/2/02	23,2	1,0	4,4	32,8	8,2	10	80	306	9,9
22/2/02	16,7	2,5	17,8	23,2	118,4	10	90	300	6,1

Tabla V.1c. Niveles de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Abanto.

Fecha	PM10 Beta	NO	NO2	O3	SO2	T °C	Humedad	Dirección viento	Velocidad viento
23/2/02	11,9	3,4	18,3	21,3	113,1	12	91	300	7,6
24/2/02	20,3	7,2	22,7	21,3	52,9	11	91	260	5,9
25/2/02	30,3	38,7	48,6	9,0	21,3	10	87	182	1,6
26/2/02	13,5	2,6	7,6	29,1	9,7	14	60	222	5,0
27/2/02	11,6	1,9	14,5	26,4	20,1	11	90	281	4,7
28/2/02	18,4	16,3	37,1	15,8	17,7	8	92	208	2,0
1/3/02	19,2	12,7	33,1	15,1	21,6	7	92	233	3,2
2/3/02	18,9	14,0	22,8	19,0	27,2	5	95	250	4,0
3/3/02	13,3	2,1	18,4	23,1	23,9	7	90	232	2,4
4/3/02	25,0	17,6	45,9	15,3	17,2	10	73	117	2,7
5/3/02	13,4	1,2	9,6	31,3	10,9	9	91	308	8,4
6/3/02	12,3	1,2	9,8	29,6	10,8	9	92	308	6,8
7/3/02	13,6	1,8	13,1	26,6	11,9	10	98	301	5,6
8/3/02	10,7	2,7	21,0	24,3	17,1	10	98	307	2,6
9/3/02	11,1	2,0	18,2	21,8	13,6	9	97	292	2,2
10/3/02	19,2	10,7	31,8	19,2	14,9	10	88	159	2,6
11/3/02	66,3	79,6	63,4	1,7	32,7	12	89	179	1,9
12/3/02	34,3	4,5	19,6	34,1	11,9	17	57	143	5,3
13/3/02	39,6	10,9	25,7	28,3	12,1	14	66	132	3,9
14/3/02	4,8	1,5	6,3	35,9	6,4	11	66	145	5,4
15/3/02						14	58	210	5,9
16/3/02	17,0	10,8	40,3	20,4	12,5	10	95	203	3,3
17/3/02	11,3	2,3	8,3	43,2	9,6	12	66	206	5,8
18/3/02	9,9	1,1	3,1	45,6	7,7	16	60	199	6,0
19/3/02	20,9	3,2	17,3	36,3	30,7	16	72	245	4,5
20/3/02	47,2	46,3	52,4	9,9	40,3	15	92	192	2,1
21/3/02	55,1	46,3	48,2	14,8	28,5	13	97	205	3,6
22/3/02	58,5	49,5	44,8	15,7	32,3	12	95	197	3,0
23/3/02	46,3	36,3	42,4	15,4	30,0	12	93	167	2,7
24/3/02	32,8	10,3	29,9	24,9	34,4	11	91	220	2,7
25/3/02	28,6	17,8	31,8	26,5	44,3	9	89	245	2,2
26/3/02	35,3	23,0	29,4	31,7	29,3	8	89	223	1,9
27/3/02	35,3	20,6	33,3	33,0	27,8	8	85	234	1,8
28/3/02	40,9	4,1	22,9	42,0	15,9	11	65	121	6,0
29/3/02	19,4	1,2	4,8	52,7	7,6	14	56	169	5,5
30/3/02	23,3	1,4	8,5	49,3	15,0	12	84	251	2,3
31/3/02	51,8	3,2	16,6	40,6	26,1	11	97	210	2,5
1/4/02	62,3	3,9	22,8	29,2	47,7	11	98	263	2,1
2/4/02	45,0	13,2	20,3	41,4	13,9	14	76	176	3,7
3/4/02	12,5	2,8	12,4	33,6	40,9	8	94	278	7,9
4/4/02	13,7	5,0	21,6	23,7	48,1	8	93	263	6,5
5/4/02	17,9	3,6	13,3	26,0	10,6	13	63	172	3,9
6/4/02	10,2	1,0	8,7	33,4	14,5	12	85	199	2,3
7/4/02	8,4	0,9	8,9	34,8	13,0	13	67	181	3,1
8/4/02	22,6	7,3	22,2	24,2	23,1	13	79	237	2,5
9/4/02	18,6	1,5	10,3	29,5	10,3	10	98	306	4,2
10/4/02	14,7	0,9	10,4	32,0	14,8	7	95	289	3,3
11/4/02	13,8	4,8	23,4	26,0	14,5	6	98	259	2,0
12/4/02	28,5	1,0	9,6	31,8	11,7	9	97	309	6,5
13/4/02	24,3	0,5	4,0	43,7	8,2	9	82	310	6,4
14/4/02	15,8	0,4	3,3	40,0	11,0	9	83	301	5,2
15/4/02	27,1	25,2	32,2	18,8	18,5	8	96	222	1,3
16/4/02	33,1	24,9	39,0	14,8	22,4	9	77	104	2,6

Tabla V.1d. Niveles de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Abanto.

Fecha	PM10 Beta	NO	NO2	O3	SO2	T °C	Humedad	Dirección viento	Velocidad viento
17/4/02	42,1	32,8	29,5	21,0	24,3	10	91	222	4,4
18/4/02	14,2	2,8	17,9	25,3	19,3	10	96	235	1,7
19/4/02	29,0	18,0	25,8	19,6	22,3	11	88	188	3,0
20/4/02	36,9	16,6	28,9	17,9	40,7	11	85	193	2,6
21/4/02	35,5	9,1	27,0	20,8	33,2	12	83	210	2,7
22/4/02	44,8	32,8	39,0	20,6	51,9	13	81	218	2,3
23/4/02	56,9	31,0	44,0	21,9	55,6	14	81	194	1,9
24/4/02	52,2	27,1	53,1	18,7	44,9	15	81	191	2,6
25/4/02	60,1	19,6	29,0	29,8	32,7	13	95	250	4,9
26/4/02	28,4	2,6	12,8	32,6	22,5	13	93	304	5,7
27/4/02	14,4	3,2	14,8	25,9	14,3	12	88	273	2,0
28/4/02	21,5	4,3	17,7	20,9	25,6	12	91	263	3,7
29/4/02	14,9	2,9	20,8	23,5	22,6	12	95	263	4,0
30/4/02	35,8	13,8	35,0	22,1	32,9	12	86	250	3,8
1/5/02	12,6	1,2	6,2	29,4	24,5	11	92	296	4,2
2/5/02	8,5	2,2	11,3	27,3	20,9	8	96	299	4,8
3/5/02	8,7	1,6	8,5	30,3	13,4	9	94	300	6,5
4/5/02	7,8	1,8	11,8	25,3	18,9	10	96	263	3,5
5/5/02	11,8	1,2	11,6	30,3	15,6	10	90	237	2,1
6/5/02	14,9	3,6	20,3	51,7	18,0	10	89	188	2,8
7/5/02	23,4	15,5	30,5	57,3	21,6	10	95	253	2,1
8/5/02	10,4	2,3	16,5	81,3	12,3	12	98	247	3,7
9/5/02	15,9	1,1	14,0	91,9	28,0	12	98	303	9,7
10/5/02	15,5	1,0	9,6	96,2	20,0	12	98	303	6,9
11/5/02	10,9	1,4	11,5	65,9	23,7	11	98	268	4,5
12/5/02	28,2	9,9	38,8	33,7	35,6	14	85	190	2,8
13/5/02	15,7	2,5	19,2	55,7	15,7	16	74	190	4,4
14/5/02	29,6	15,1	29,6	44,7	32,3	13	94	233	2,7
15/5/02	41,6	22,0	53,2	33,5	24,7	19	79	162	2,7
16/5/02	40,8	2,1	22,5	70,3	19,6	24	59	137	4,7
17/5/02	20,8	6,2	18,9	60,4	28,0	15	92	257	4,7
18/5/02	16,0	1,5	12,0	65,3	24,1	13	83	275	3,6
19/5/02	22,9	5,6	27,5	31,9	18,8	17	81	112	2,2
20/5/02	30,5	19,3	32,7	31,2	18,6	17	84	187	3,0
21/5/02	25,3	13,9	22,0	51,7	16,2	17	69	163	4,4
22/5/02	14,7	3,3	11,4	57,1	15,3	13	91	275	2,9
23/5/02	16,2	2,8	14,2	54,2	25,4	13	86	264	4,9
24/5/02	12,9	1,8	8,7	55,4	19,8	15	76	264	4,5
25/5/02	13,9	1,1	7,3	62,8	16,0	12	83	283	3,6
26/5/02	16,2	0,8	7,2	60,4	15,5	12	89	270	3,9
27/5/02	12,1	1,3	4,5	68,1	14,9	12	83	299	6,8
28/5/02	16,3	2,7	7,9	63,9	16,2	13	88	268	3,0
29/5/02	21,1	3,2	20,7	52,9	17,1	12	97	171	1,8
30/5/02	24,3	6,2	21,1	52,3	18,0	14	97	219	2,4
31/5/02	37,9	23,8	37,7	49,8	20,5	19	81	181	3,8
1/6/02	29,6	1,2	6,6	79,0	15,9	19	88	233	3,6
2/6/02	41,4	1,0	10,4	69,8	17,3	14	98	210	2,6
3/6/02	19,6	1,5	12,3	70,3	13,5	14	98	311	3,1
4/6/02	15,0	3,3	22,0	51,2	16,7	13	98	250	1,6
5/6/02	15,0	3,8	13,8	59,3	86,8	12	91	299	8,1
6/6/02	9,9	2,0	6,1	66,4	14,4	12	86	294	5,0
7/6/02	14,9	5,2	15,2	45,3	17,3	13	87	267	3,2
8/6/02	16,8	4,4	15,0	44,5	67,4	12	80	297	8,2

Tabla V.1e. Niveles de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Abanto.

Fecha	PM10 Beta	NO	NO2	O3	SO2	T °C	Humedad	Dirección viento	Velocidad viento
9/6/02	10,1	1,3	5,2	56,3	18,9	14	76	293	3,3
10/6/02	22,5	1,9	13,0	58,9	29,2	13	80	298	2,9
11/6/02	50,0	25,3	33,5	43,2	34,0	15	87	213	3,6
12/6/02	28,5	3,8	19,2	40,6	44,0	15	98	272	2,3
13/6/02	56,5	10,8	28,9	31,0	25,9	15	98	259	3,1
14/6/02	46,1	9,1	23,2	41,4	23,9	17	84	214	3,2
15/6/02	26,5	4,5	18,3	26,7	33,6	15	98	263	2,1
16/6/02	36,2	10,9	21,9	33,0	18,7	18	89	199	3,0
17/6/02	26,0	10,8	23,8	31,0	23,7	17	97	251	2,9
18/6/02	19,2	3,9	12,8	29,4	15,3	16	98	279	2,5
19/6/02	8,0	1,0	4,6	50,8	9,1	15	98	271	2,5
20/6/02	13,8	1,2	6,7	55,3	10,0	15	97	263	1,9
21/6/02	30,0	11,0	22,3	40,5	23,7	17	94	217	2,3
22/6/02	33,3	11,5	21,4	38,5	21,0	17	95	243	3,5
23/6/02	15,9	0,7	3,3	48,8	11,0	15	98	301	3,0
24/6/02	14,3	1,5	7,7	57,1	9,4	14	97	308	5,3
25/6/02	19,7	3,5	11,7	62,3	19,1	16	89	299	2,9
26/6/02	36,1	10,7	30,8	53,7	25,5	18	91	223	2,6
27/6/02	20,4	3,3	13,8	69,1	12,0	17	97	297	5,8
28/6/02	20,4	3,3	13,8	66,9	12,1	16	97	317	4,5
29/6/02	18,0	9,7	20,9	41,2	6,2	15	15	300	3,8
30/6/02	15,0	11,0	20,5	39,7	6,6	16	16	304	3,5
1/7/02	17,4	10,9	18,3	45,1	32,4	16	82	290	3,4
2/7/02	20,3	3,7	13,2	40,5	27,8	15	90	269	4,5
3/7/02	39,8	27,5	23,2	26,1	23,0	16	91	238	5,6
4/7/02	11,6	5,3	13,3	40,0	24,9	15	86	280	2,1
5/7/02	27,9	22,4	22,2	22,0	21,6	15	95	240	3,6
6/7/02	7,5	2,1	7,7	44,0	15,0	15	93	293	3,5
7/7/02	15,4	7,5	14,8	33,5	17,9	15	91	209	3,1
8/7/02	23,5	8,5	25,2	25,0	13,5	16	98	209	2,2
9/7/02	24,4	17,3	26,8	20,8	22,8	15	97	201	3,1
10/7/02	21,2	18,2	28,6	21,3	15,9	14	97	193	2,9
11/7/02	22,0	14,0	28,9	24,5	25,6	16	91	210	1,9
12/7/02	42,3	42,0	29,9	29,3	22,7	16	93	215	4,2
13/7/02	9,0	1,4	3,2	51,7	10,6	15	88	303	5,2
14/7/02	6,8	1,5	6,2	46,2	11,6	15	92	305	4,4
15/7/02	10,7	1,8	5,0	66,7	11,0	16	97	305	6,2
16/7/02	21,1	2,1	18,8	72,5	12,5	17	92	281	5,5
17/7/02	24,3	9,1	22,6	58,1	16,6	17	97	278	2,3
18/7/02	51,4	26,5	40,3	47,5	13,0	20	85	162	2,8
19/7/02	62,5	26,5	37,9	48,2	11,8	19	95	225	3,5
20/7/02	68,5	9,0	32,7	47,8	26,7	18	97	225	2,4
21/7/02	31,1	1,8	7,9	72,0	10,8	18	98	231	2,7
22/7/02	13,8	3,6	16,0	56,8	10,7	17	96	283	2,7
23/7/02	12,2	2,3	7,3	66,4	12,3	17	94	304	7,7
24/7/02	14,7	3,6	11,8	38,1	14,7	17	96	306	4,6
25/7/02	6,0	2,5	3,7	20,0	9,1	18	98	307	5,2
26/7/02	7,6	6,9	12,4	23,1	9,4	19	92	231	1,6
27/7/02	20,0	15,7	12,7	32,7	10,9	18	95	223	4,0
28/7/02	9,1	2,0	6,9	39,4	8,3	19	98	190	1,6
29/7/02	10,0	4,2	11,1	29,3	7,0	18	98	294	3,8
30/7/02	6,8	3,2	8,3	31,5	7,4	17	97	302	6,1
31/7/02	11,0	2,4	5,0	47,3	15,7	16	82	299	5,8

Tabla V.1f. Niveles de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Abanto.

Fecha	PM10 Beta	NO	NO2	O3	SO2	T °C	Humedad	Dirección viento	Velocidad viento
1/8/02	10,3	5,3	8,8	45,2	9,6	16	77	296	4,2
2/8/02	22,0	18,6	19,4	32,3	20,4	17	82	239	2,5
3/8/02	15,9	6,3	17,5	28,4	20,4	18	84	225	1,8
4/8/02	22,5	9,4	14,7	34,4	15,1	18	88	193	2,1
5/8/02	18,2	11,5	16,3	35,5	8,3	17	97	267	2,7
6/8/02	9,0	2,4	10,2	50,8	9,0	17	97	300	4,1
7/8/02	24,4	3,0	13,7	60,1	8,7	17	91	302	2,7
8/8/02	44,3	2,2	12,1	51,5	10,6	16	95	297	4,4
9/8/02	10,4	3,1	10,8	36,4	23,6	16	91	297	3,6
10/8/02	8,4	1,8	3,7	52,3	12,4	15	86	303	6,1
11/8/02	12,4	2,6	10,2	51,1	32,6	17	85	299	5,8
12/8/02	9,3	2,7	11,5	33,7	10,8	16	95	300	4,4
13/8/02	20,2	13,9	26,8	31,7	11,4	17	86	185	1,7
14/8/02	27,5	23,8	30,4	39,1	11,6	18	90	195	3,1
15/8/02	18,3	2,2	13,7	51,7	9,3	18	98	240	3,0
16/8/02	17,5	3,7	19,8	42,1	9,2	18	98	218	1,7
17/8/02	34,0	7,4	20,6	45,1	15,9	19	94	215	2,1
18/8/02	26,7	3,5	11,8	45,0	9,2	19	95	242	2,2
19/8/02	38,8	11,4	17,6	36,6	7,2	20	95	251	3,0
20/8/02	23,8	5,2	11,2	34,9	6,9	19	97	199	2,0
21/8/02	11,4	3,0	13,8	44,7	7,9	19	92	206	1,9
22/8/02	11,8	7,7	15,5	48,3	7,3	18	97	298	2,7
23/8/02	15,3	2,6	16,1	60,5	7,8	18	97	299	2,4
24/8/02	13,0	1,9	9,3	80,3	6,7	18	96	283	2,4
25/8/02	13,8	1,7	9,4	79,6	7,9	18	94	297	3,5
26/8/02	17,0	2,0	8,6	64,3	12,6	17	90	301	6,7
27/8/02	11,0	2,5	11,5	56,0	31,6	16	94	295	4,9
28/8/02	9,2	1,7	8,3	75,4	14,0	17	96	303	6,2
29/8/02	18,6	5,6	22,3	59,1	17,2	17	93	267	2,9
30/8/02	38,1	24,7	30,0	50,8	18,7	18	95	212	2,4
31/8/02	12,9	1,6	7,8	48,9	14,6	18	97	312	2,4
1/9/02	11,3	2,3	10,6	44,5	14,6	18	95	218	1,6
2/9/02	29,4	24,3	32,0	35,3	18,3	17	93	194	2,2
3/9/02	38,5	19,8	34,1	34,9	22,7	18	98	248	3,7
4/9/02	34,0	11,6	43,7	36,8	20,7	16	95	241	1,5
5/9/02	12,7	2,0	18,0	43,5	20,4	17	93	296	4,0
6/9/02	25,7	28,1	30,4	31,9	10,8	17	89	210	1,5
7/9/02	38,6	25,1	33,1	32,5	14,1	17	90	185	2,0
8/9/02	15,1	2,0	13,8	45,6	7,6	17	94	212	2,2
9/9/02	18,0	8,4	24,7	36,6	9,9	16	77	215	2,2
10/9/02	40,0	42,1	40,5	27,5	12,7	17	82	92	2,2
11/9/02	42,9	32,4	40,6	36,5	9,8	18	84	104	2,2
12/9/02	33,4	37,0	41,3	38,2	16,1	16	85	143	1,9
13/9/02	40,5	33,0	44,7	41,1	14,5	16	86	105	2,4
14/9/02	40,0	15,3	42,2	45,4	10,5	19	75	107	3,0
15/9/02	40,2	10,8	42,0	39,9	11,7	19	91	216	2,4
16/9/02	51,2	33,8	55,7	26,1	17,0	19	95	215	2,0
17/9/02	22,0	18,7	33,7	36,4	8,0	22	76	140	2,4
18/9/02	20,8	11,8	26,8	39,3	9,4	23	62	176	2,6
19/9/02	22,3	13,7	35,8	42,8	14,5	22	76	207	2,5
20/9/02	43,8	30,5	53,0	26,8	13,8	21	82	174	1,8
21/9/02	33,8	18,3	38,7	38,7	20,4	18	96	220	1,8
22/9/02	13,3	5,5	16,3	69,3	8,6	18	88	232	2,3

Tabla V.1g. Niveles de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Abanto.

Fecha	PM10 Beta	NO	NO2	O3	SO2	T °C	Humedad	Dirección viento	Velocidad viento
23/9/02	19,6	16,3	31,3	56,6	18,4	16	79	241	1,8
24/9/02	15,4	14,9	32,5	54,7	14,8	14	69	212	2,1
25/9/02	36,0	45,8	51,3	33,1	20,6	12	80	194	2,0
26/9/02	44,5	49,1	59,2	30,3	27,2	13	79	152	1,8
27/9/02	51,6	47,8	53,9	34,8	17,4	14	81	99	2,7
28/9/02	51,9	26,6	53,2	31,8	17,7	14	88	175	2,7
29/9/02	42,8	16,4	46,6	42,2	16,9	19	71	177	2,2
30/9/02	46,7	16,0	52,0	48,0	19,5	20	72	166	2,6
1/10/02	70,0	99,7	62,0	4,2	17,9	18	98	127	1,6
2/10/02	23,7	16,9	42,2	21,3	9,2	18	93	170	2,1
3/10/02	26,5	28,0	34,1	30,4	12,3	17	96	268	1,9
4/10/02	24,0	9,8	25,2	51,5	10,1	17	98	271	2,2
5/10/02	30,2	10,6	30,9	38,6	11,9	16	96	214	1,8
6/10/02	27,0	13,3	36,8	36,2	10,5	14	89	154	2,0
7/10/02	51,0	52,7	55,3	18,0	18,9	14	84	149	2,5
8/10/02	84,3	95,6	70,8	7,1	18,0	15	95	166	1,5
9/10/02	9,0	7,0	21,6	51,3	10,5	12	98	294	5,3
10/10/02	14,3	10,3	32,3	39,5	49,0	13	94	297	8,7
11/10/02	13,0	10,0	26,5	43,0	26,6	15	71	258	4,6
12/10/02	15,5	11,8	22,1	47,1	12,3	15	94	248	5,1
13/10/02	19,3	14,6	23,2	40,8	14,5	16	86	213	3,6
14/10/02	16,0	24,0	24,7	42,0	11,6	18	68	161	4,0
15/10/02	22,2	22,5	31,8	42,6	11,6	19	74	199	3,6
16/10/02	8,9	8,3	24,3	56,9	33,7	17	78	274	3,1
17/10/02	14,8	7,5	21,6	58,2	38,3	13	82	286	4,2
18/10/02	35,8	55,1	51,5	24,6	27,3	12	81	191	1,6
19/10/02	20,0	22,0	28,3	49,5	16,6	16	62	124	3,8
20/10/02	11,3	6,7	9,2	71,4	12,7	23	45	161	6,5
21/10/02	9,2	7,5	13,0	76,2	9,5	20	52	211	3,9
22/10/02	12,4	16,7	24,4	57,1	11,4	18	72	241	4,1
23/10/02	25,2	14,9	36,1	41,1	73,3	14	78	255	7,0
24/10/02	12,8	9,3	24,4	40,7	18,0	16	77	222	3,7
25/10/02	14,2	12,7	28,4	34,8	12,6	21	69	203	4,1
26/10/02	26,2	32,3	29,6	27,3	12,1	19	71	149	2,9
27/10/02	16,3	9,1	21,8	43,6	6,5	16	81	240	3,2
28/10/02	34,1	37,9	49,8	13,8	10,2	17	76	113	2,9
29/10/02	21,5	8,1	19,7	52,9	8,0	22	47	178	4,3
30/10/02	11,2	7,6	19,6	61,1	8,7	17	68	250	3,5
31/10/02	22,2	22,4	41,6	31,6	20,7	15	93	258	2,0
1/11/02	14,4	8,7	18,5	43,3	9,4	17	67	222	1,7
2/11/02	9,8	7,0	9,7	46,4	7,8	20	66	208	4,8
3/11/02	16,6	7,3	16,9	56,7	19,0	16	86	301	6,9
4/11/02	15,1	10,3	30,3	45,5	11,0	13	97	283	3,6
5/11/02	43,4	57,0	65,5	8,1	15,1	13	88	103	2,2
6/11/02	19,6	29,2	34,0	29,0	18,0	13	96	232	7,6
7/11/02	17,3	7,4	14,5	70,8	10,0	13	78	298	10,8
8/11/02	21,9	15,0	34,0	39,1	24,6	13	76	266	3,7
9/11/02	16,0	8,7	21,4	38,7	35,2	15	91	296	8,8
10/11/02	14,8	17,6	26,3	25,9	11,0	15	98	224	3,0
11/11/02	33,9	47,7	52,8	21,7	13,0	13	98	214	2,5
12/11/02	13,2	13,5	20,7	51,2	9,0	14	61	197	3,8
13/11/02	9,5	7,6	12,0	75,2	7,8	15	55	205	6,4
14/11/02	11,5	9,1	17,8	58,5	7,6	13	57	178	4,3

Tabla V.1h. Niveles de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Abanto.

Fecha	PM10 Beta	NO	NO2	O3	SO2	T °C	Humedad	Dirección viento	Velocidad viento
15/11/02	8,3	8,8	17,6	58,7	7,7	13	57	189	3,8
16/11/02	8,0	8,0	14,9	55,4	7,9	12	59	202	3,6
17/11/02	13,7	15,3	28,7	35,2	10,3	10	78	220	2,0
18/11/02	21,5	51,1	38,7	24,2	11,5	12	82	180	1,9
19/11/02	16,8	11,8	30,6	35,0	14,9	13	82	206	3,7
20/11/02	9,4	21,1	28,7	53,8	9,6	11	74	207	3,5
21/11/02	9,9	10,5	22,0	61,9	11,8	13	62	218	3,6
22/11/02	5,5	10,4	12,2	72,6	7,7	13	60	201	4,9
23/11/02	5,9	9,7	18,2	70,1	8,1	13	61	202	3,1
24/11/02	16,8	13,8	41,2	39,8	14,2	11	79	148	2,0
25/11/02	15,3	45,3	62,1	16,9	12,3	9	98	226	1,6
26/11/02	23,3	49,0	40,0	37,3	12,9	11	72	153	3,4
27/11/02	9,9	8,1	14,4	61,5	8,5	16	64	214	5,3
28/11/02	25,3	24,8	45,9	30,2	23,3	13	82	220	2,4
29/11/02	15,3	9,1	27,9	52,3	53,7	11	82	277	6,6
30/11/02	16,6	8,7	23,6	54,4	33,7	12	95	285	4,7

V.b. Patrones de variación

El estudio de los ciclos (diarios, semanales, estacionales, etc.) de las cantidades de contaminantes aporta una valiosa información a la hora de interpretar las posibles fuentes. En este caso, el estudio se ha centrado en las variaciones en función de las diferentes estaciones del año, días de la semana y horas de cada día. A continuación se exponen los resultados más relevantes obtenidos a partir de los datos disponibles para el período de estudio.

Los niveles medios de partículas y contaminantes registrados de forma automática por los equipos de la estación de abanto desde Diciembre de 2001 a Noviembre de 2002 se presentan en la **Tabla V.2**.

En cuanto al significado de los datos obtenidos, puede establecerse lo siguiente:

- **NO₂:** El valor promedio obtenido es de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO₂, con oscilaciones significativas siendo los valores máximos por encima de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante los meses de Diciembre y Enero de 2001 y Septiembre y Octubre de 2002, y los mínimos de ca. 15 a 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante los meses de Mayo a Agosto (**Tabla V.1**).

Los óxidos de nitrógeno se forman por oxidación del nitrógeno atmosférico durante los procesos de combustión, considerándose el tráfico y, en menor medida, las centrales térmicas e industrias, los responsables de la mayor parte de las emisiones urbanas. Se emiten mayormente en forma de NO que se oxida rápidamente a NO₂.

Tabla V.2. Niveles medios de **PM10** y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medios en la estación de Abanto (datos suministrados por el Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Gobierno Vasco).

	NO₂	NO	O₃	PM10 Beta	SO₂
Diciembre 2001	39	37	16	41	21
Enero 2002	31	20	24	27	16
Febrero 2002	20	11	24	24	27
Marzo 2002	26	15	28	32	21
Abril 2002	22	10	27	34	26
Mayo 2002	18	6	53	23	20
Junio 2002	16	6	50	29	23
Julio 2002	17	10	41	26	16
Agosto 2002	15	6	49	23	13
Septiembre 2002	38	22	39	39	15
Octubre 2002	32	23	40	29	18
Noviembre 2002	28	18	46	19	15
Promedio	25	15	36	29	19
Valor límite horario (*)	280 (250)				440 (350)
Valor límite 8 horas (*)			120		
Valor límite diario (*)				65 (50)	125
Valor límite anual (*)	56 (50)			44,8 (40)	

(*) Valores límite en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con el margen de tolerancia para el 2002; entre paréntesis valores límite para el 2005.

En el caso presente, los valores para el NO₂ presentan oscilaciones que indican una fuente permanente de este óxido con una disminución significativa durante los meses de vacaciones y valores más altos durante los meses de actividad normal. Según esto, los menores valores registrados podrían estar relacionados con una menor influencia del tráfico o de las fuentes industriales emisoras de óxidos de nitrógeno. No obstante, también es posible que la disminución pudiera relacionarse con una mejor dispersión de los contaminantes, no debiéndose descartar, obviamente, la posibilidad de condiciones atmosféricas diferentes de un mes a otro.

En efecto, en la **Figura V.1** puede observarse cómo las concentraciones de NO₂ y NO siguen aproximadamente una línea de regresión con escasa pendiente, lo que indica que dichos valores son hasta cierto punto función de la eficacia dispersiva del viento, de manera que, a mayor velocidad del viento, se reduce algo la concentración de contaminantes.

- **NO:** El valor promedio durante el periodo de estudio ha sido de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO, con valores medios mensuales bastante variables que oscilaron entre los 23, de Octubre, y los aproximadamente 6, registrados durante los meses de Mayo, Junio y Agosto.

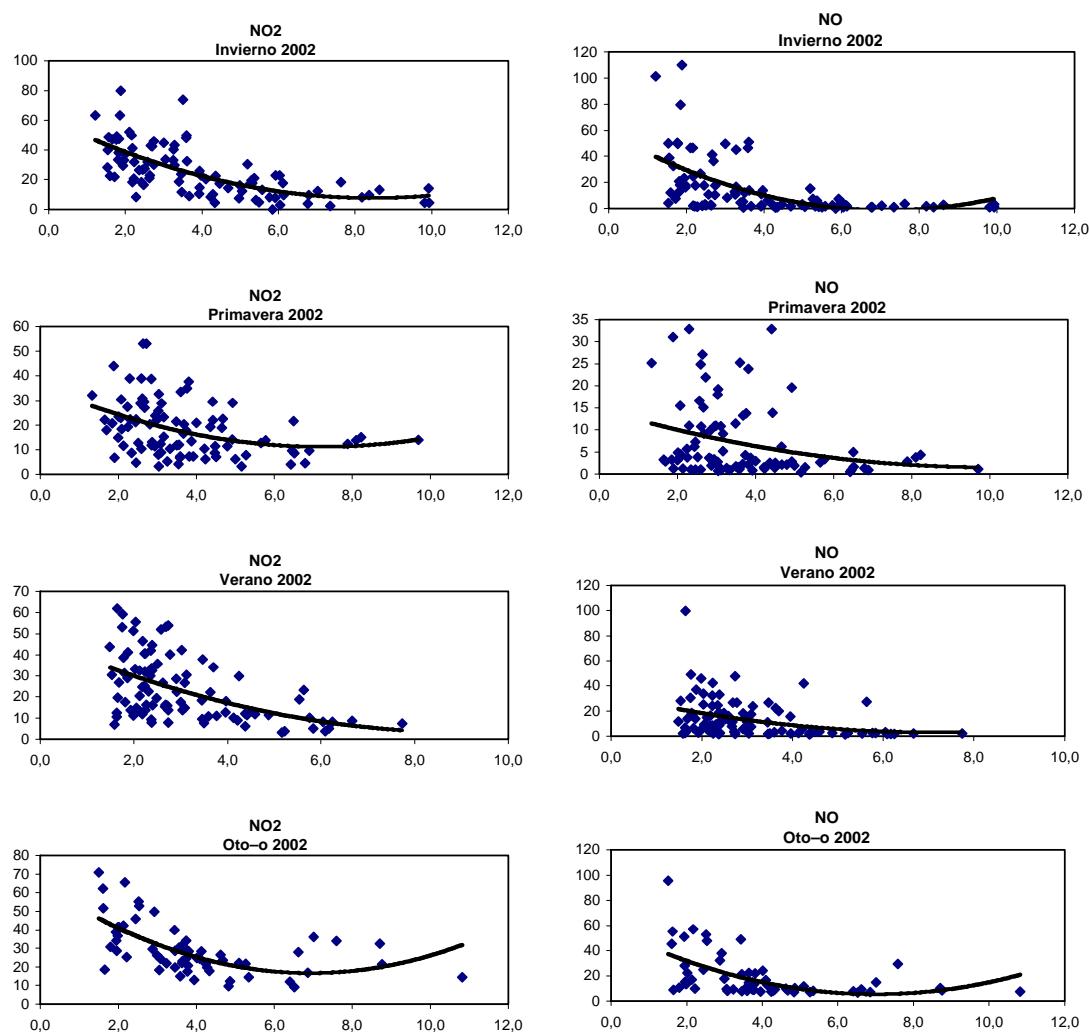


Figura V.1. Concentración de óxidos de nitrógeno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ en ordenadas) en función de la velocidad del viento (m/s en abscisas) para las diferentes estaciones del año 2002. Se observa cómo la distribución de los puntos coincide aproximadamente con la línea de regresión lo que indica la influencia de la dispersión por el viento en la concentración de estos dos contaminantes gaseosos.

Dada la rapidez del proceso de oxidación del NO a NO₂, las diferencias entre los valores registrados deben atribuirse a diferencias en las condiciones locales y no ha diferencias en las posibles influencias de focos lejanos.

- **PM10:** El valor promedio registrado a partir de los datos aportados por el medidor Beta instalado en la estación ha sido de $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10, con valores medios mensuales que oscilan entre los $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de Diciembre de 2001 y los $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de Noviembre de 2002.

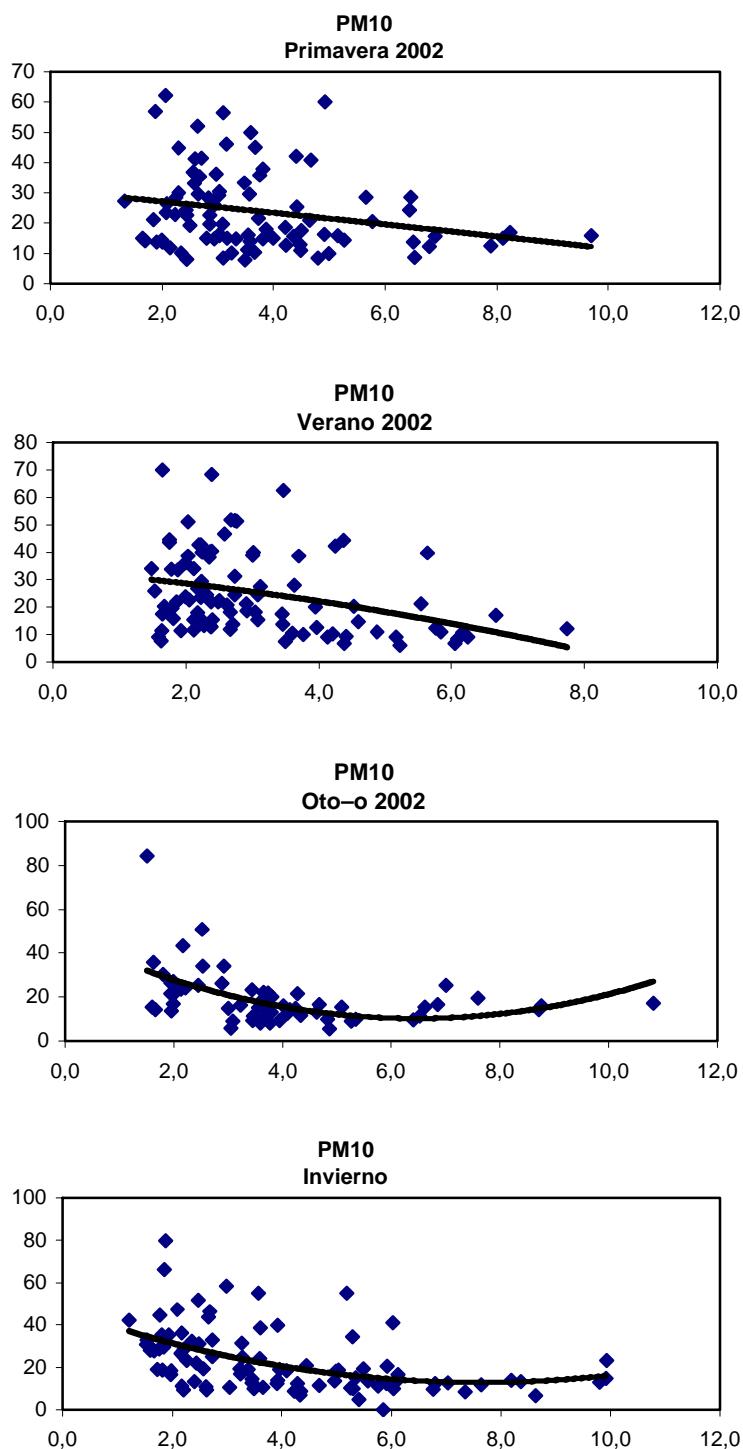


Figura V.2b. Concentración de PM10 (Beta, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en ordenadas) en función de la velocidad del viento (m/s en abscisas) para las diferentes estaciones del año 2002.

Ninguno de los valores mensuales superan los valores legales establecidos en la segunda fase de la Directiva 1999/30/CE.

Para las partículas en suspensión no se observa una relación clara entre concentración y dispersión (velocidad del viento, **Figura V.2**), por lo que, a priori, no podemos excluir la influencia de fuentes lejanas en las concentraciones de PM10 registradas en Abanto.

- **O₃:** El O₃ presenta un valor medio de 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el total del período, correspondiendo el valor medio más alto al mes de Mayo (53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y el más bajo al mes de Diciembre de 2001 (16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Se trata tanto de valores como de un comportamiento normales para este contaminante, dado que es habitual que los valores anuales más altos de ozono se registren durante los meses de primavera debido al aumento de la actividad fotoquímica y al mayor intercambio de ozono entre la estratosfera y la troposfera.

La relación entre concentración de ozono y dispersión (velocidad del viento) es poco importante y, tal como cabía esperar y se observa en la **Figura V.3**, de signo contrario a la mostrada por los óxidos de nitrógeno.

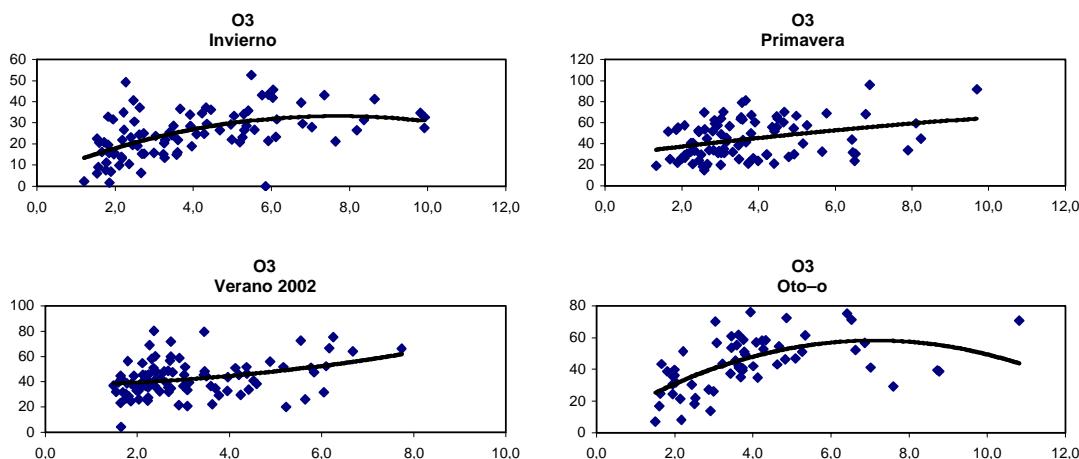


Figura V.3. Concentración de O₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ en ordenadas) en función de la velocidad del viento (m/s en abscisas) para las diferentes estaciones del año 2002.

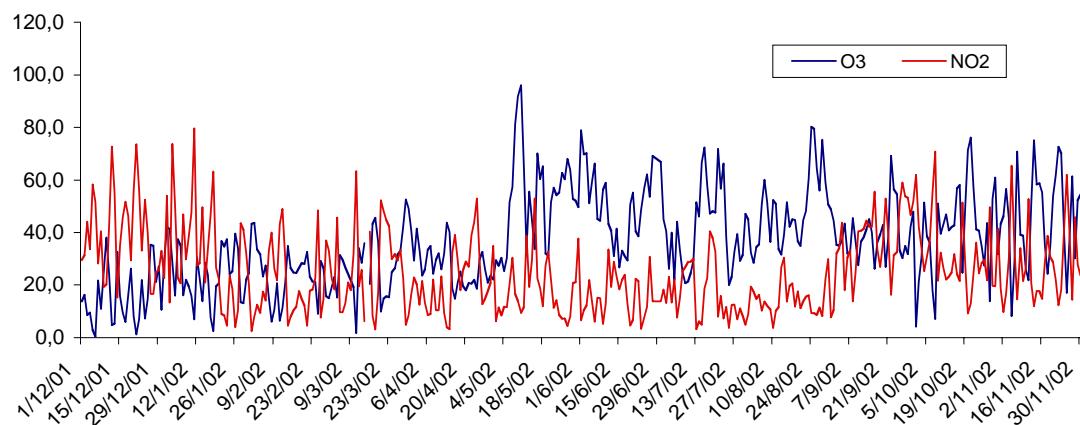


Figura V.4. Evolución estacional de los niveles medios diarios de O₃ y NO₂ medidos en la estación de Abanto desde Diciembre de 2001 a Noviembre de 2002.

Así, los niveles de NO₂ y O₃ presentan una tendencia estacional propia de entornos urbanos (**Figura V.4**). Durante el invierno, las mayores tasas de

emisión y las menores condiciones dispersivas de la atmósfera favorecen la acumulación de contaminantes como el NO₂ en entornos urbanos. El ozono muestra una tendencia inversa ya que, además de que aumenta a escala regional en primavera y verano debido a su origen fotoquímico, los niveles más bajos de NO en verano hacen que se consuma menos O₃.

- **SO₂:** El SO₂ presenta valores medios bajos para todo el periodo de muestreo, en torno a 19 µg/m³, y prácticamente ninguna relación con la dispersión (velocidad del viento) por lo que no se incide más en su significado.

V.c. Patrones semanales

En la **Tabla V.3a** y **V.3b** se muestra el valor medio de cada uno de los contaminantes atmosféricos para los distintos días de la semana a lo largo de diferentes periodos trimestrales. Podemos observar cómo los valores mínimos para la mayoría de los contaminantes (NO₂, NO, PM10, SO₂) corresponden a los domingos, siendo el segundo menor valor por lo general el de los sábados. El valor medio más alto no presenta una pauta bien definida, correspondiendo en muchos casos a los viernes, aunque también puede registrarse otros días de la semana.

El comportamiento del O₃ parece contrario al de los demás contaminantes, teniendo su máximo los fines de semana y su mínimo durante alguno de los días por semana, lo que podría ser debido, como ya se ha indicado, a que el ozono se consume al reaccionar con el NO del tráfico y la actividad industrial.

Tabla V.3a. Concentraciones medias de contaminantes en µg/m³ para cada uno de los días de la semana.

Enero-Marzo 2002					
	NO	NO2	O3	PM10	SO2
Lunes	27	35	20	27	21
Martes	11	22	27	22	17
Miércoles	11	24	27	24	22
Jueves	15	30	24	23	17
Viernes	32	32	21	29	27
Sábado	9	21	27	20	24
Domingo	5	20	28	21	20
Abril-Junio 2002					
	NO	NO2	O3	PM10	SO2
Lunes	9	21	42	25	24
Martes	13	24	41	30	24
Miércoles	9	22	43	24	30
Jueves	5	18	48	24	22
Viernes	7	16	46	24	19
Sábado	4	13	46	20	24

Domingo	4	14	42	21	19
----------------	---	----	----	----	----

Tabla V.3b. Concentraciones medias de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para cada uno de los días de la semana.

Abril-Junio 2002					
	NO	NO2	O3	PM10	SO2
Lunes	9	21	42	25	24
Martes	13	24	41	30	24
Miércoles	9	22	43	24	30
Jueves	5	18	48	24	22
Viernes	7	16	46	24	19
Sábado	4	13	46	20	24
Domingo	4	14	42	21	19
Julio-Agosto 2002					
	NO	NO2	O3	PM10	SO2
Lunes	11	23	43	21	14
Martes	12	21	43	20	16
Miércoles	15	24	43	24	15
Jueves	13	24	42	24	16
Viernes	22	29	37	31	16
Sábado	10	22	45	27	15
Domingo	5	16	49	18	13
Septiembre-Diciembre 2002					
	NO	NO2	O3	PM10	SO2
Lunes	26	34	41	20	15
Martes	25	31	44	22	13
Miércoles	17	26	48	15	18
Jueves	13	25	49	15	18
Viernes	18	27	46	17	18
Sábado	12	21	50	14	17
Domingo	12	24	45	14	13

En las **Figuras V.5 a V.8** se han representado, para cada uno de los días de la semana, las concentraciones medias horarias de contaminantes. Observando las Figuras, resultan muy llamativas las diferencias existentes entre los días laborables y los fines de semana, especialmente el domingo.

Así, podemos comprobar cómo, en general (nótese la diferencia durante el último trimestre) de lunes a viernes, entre las 7 y las 8 (GMT), es decir entre las 8 y las 10 hora local, se registra el máximo de NO. El NO es un contaminante primario emitido durante los procesos de combustión, que mayoritariamente se relaciona con el tráfico de vehículos y, en menor medida, con actividades industriales.

Por todo ello, el máximo registrado podría corresponder al inicio del tráfico y/o de la actividad industrial local. Este máximo de NO registrado por las mañanas es prácticamente inexistente los sábados y los domingos.

Esto último apoyaría la hipótesis de que el NO registrado en Abanto estaría relacionado principalmente con el tráfico ya que los vehículos pesados tienen prohibida la circulación en la Comunidad Autónoma los días festivos. En cualquier caso, no podemos descartar la influencia de fuentes industriales en las concentraciones de NO, siempre y cuando se trate de alguna industria que no trabaje el domingo.

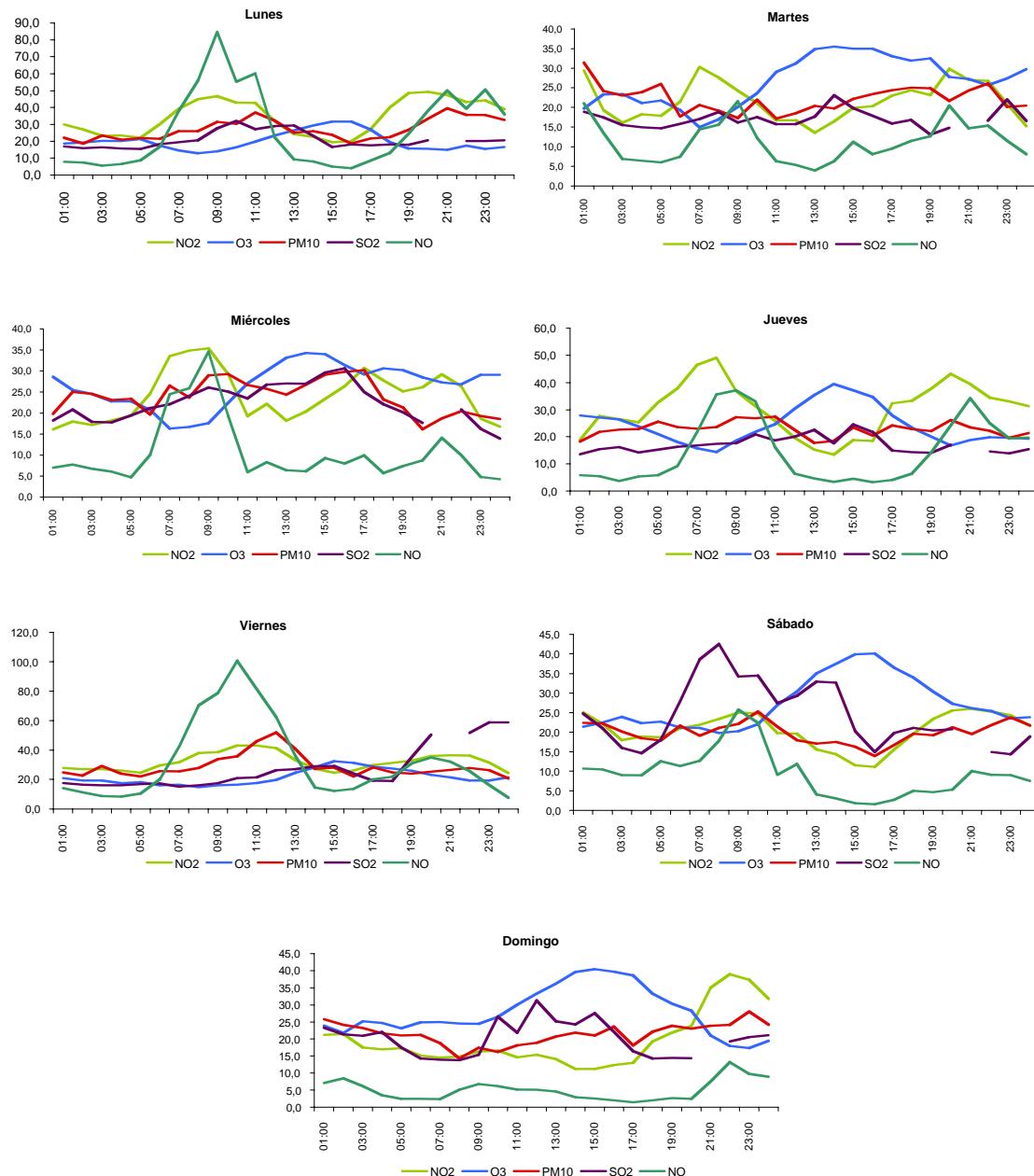


Figura V.5. Medidas horarias de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para cada día de la semana a partir de los datos registrados por la estación de Abanto entre Enero y Marzo del 2002.

A partir de las 10 de la mañana hora local, y debido al aumento de la radiación solar, comienza a formarse fotoquímicamente el O_3 el cual reacciona con el NO produciéndose una disminución paulatina de este contaminante. Como se observa en las **Figuras V.5 a V.8**, el máximo de NO coincide con el

mínimo de O_3 , el cual aumenta paulatinamente, con un pequeño descenso de las 8 hasta las 10 de la mañana y, posteriormente, vuelve a aumentar para mantenerse constante en las horas nocturnas.

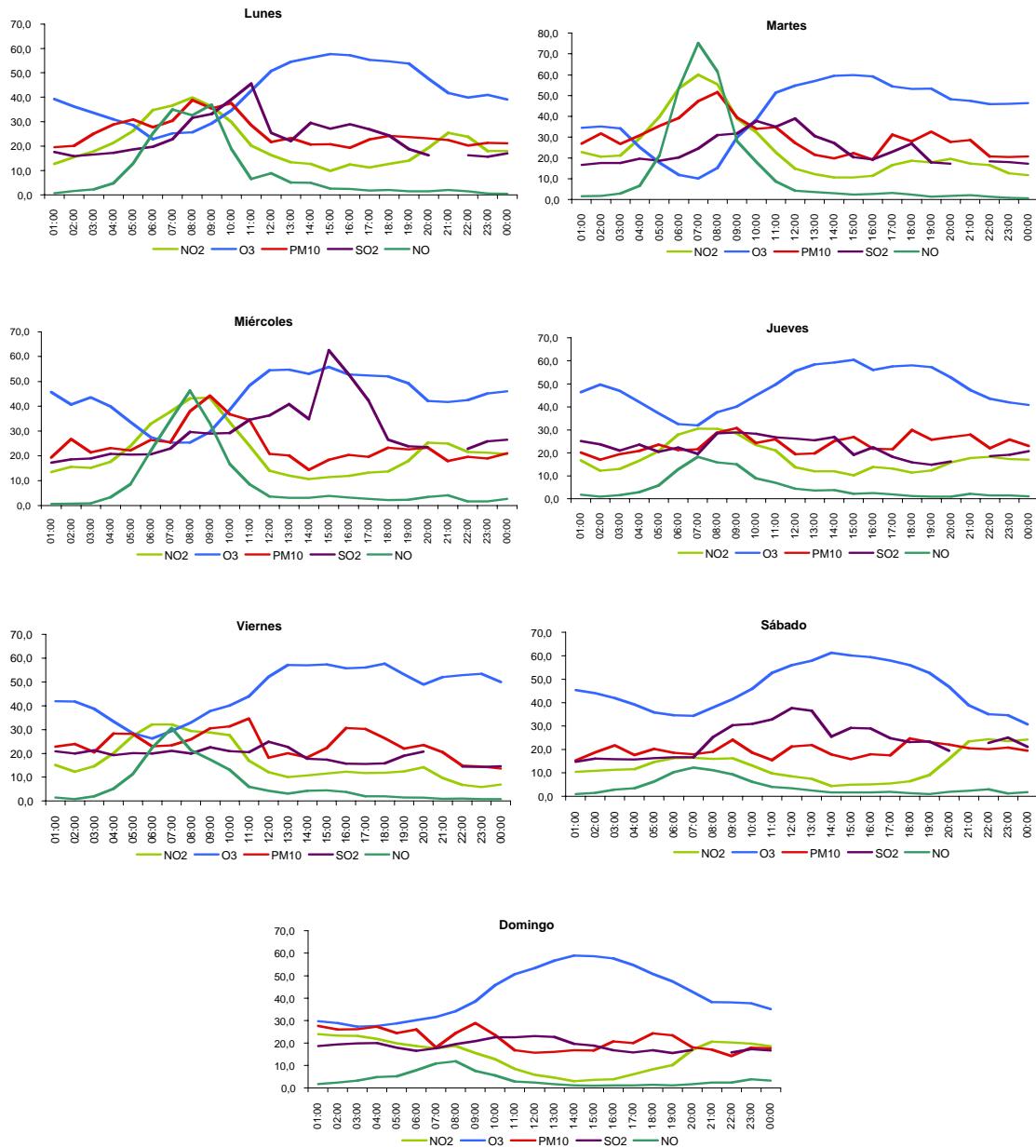


Figura V.6. Medidas horarias de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para cada día de la semana a partir de los datos registrados por la estación de Abanto entre Abril y Junio del 2002.

Esta relación inversa entre NO y O_3 queda patente, además, en el hecho de que los valores más altos de O_3 se registran los fines de semana coincidiendo con los menores valores de NO.

El NO_2 , a diferencia del NO, muestra dos máximos diarios para los días laborables. El primero se registra por la mañana, casi coincidente en el tiempo con respecto al del NO, lo que indica un origen probablemente asociado al de este contaminante. El segundo, mucho menor que el primero y no siempre

discernible, se registra en torno a las 23 horas, hora local y, por tanto, puede estar relacionado con la disminución de la capa de mezcla que tiene lugar por las noches. Al disminuir el volumen de aire se produce un aumento de la concentración de los contaminantes que estaban dispersos en la atmósfera, de ahí que este pico no afecte a los contaminantes primarios como el NO.

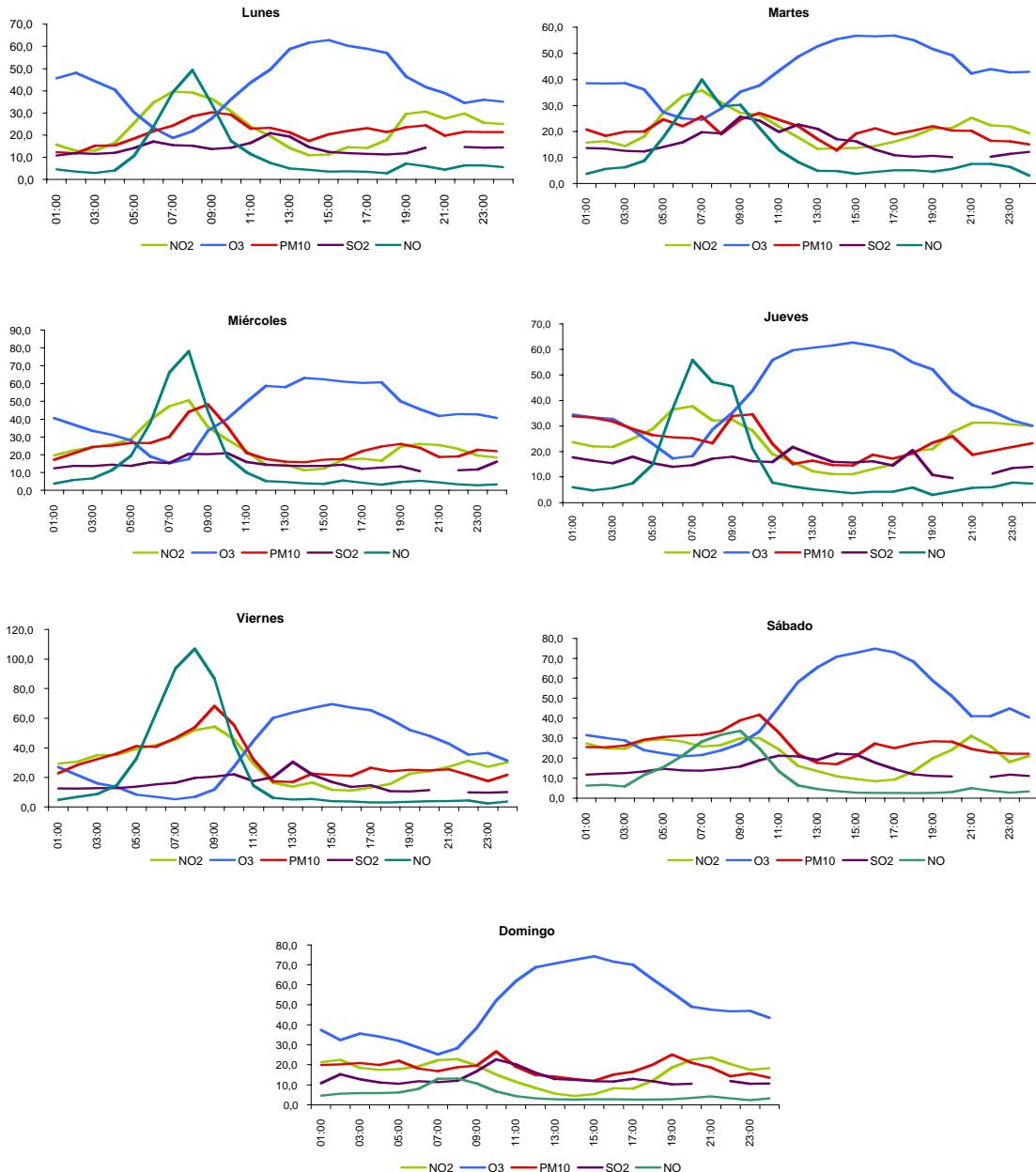


Figura V.7. Medidas horarias de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para cada día de la semana a partir de los datos registrados por la estación de Abanto entre Julio y Agosto del 2002.

Las partículas (PM10) muestran un pico importante durante los días laborables entre las 6 y las 10 de la mañana y uno menor a partir aproximadamente de las 20 horas, siendo mayores las concentraciones durante las horas diurnas que en las nocturnas. El pico de las mañanas en

parte se solapa con el del NO aunque se inicia antes y presenta un perfil más amplio, lo que podría indicar una fuente, diferente en parte, para las partículas PM10 y activa con anterioridad a la del tráfico local. Otro hecho que conviene reseñar es que este patrón se repite, aunque con valores máximos algo más bajos, durante los domingos, mientras que los sábados prácticamente desaparece, lo que apunta a una fuente o actividad emisora de partículas PM10 durante los domingos análoga a las de los días laborables.

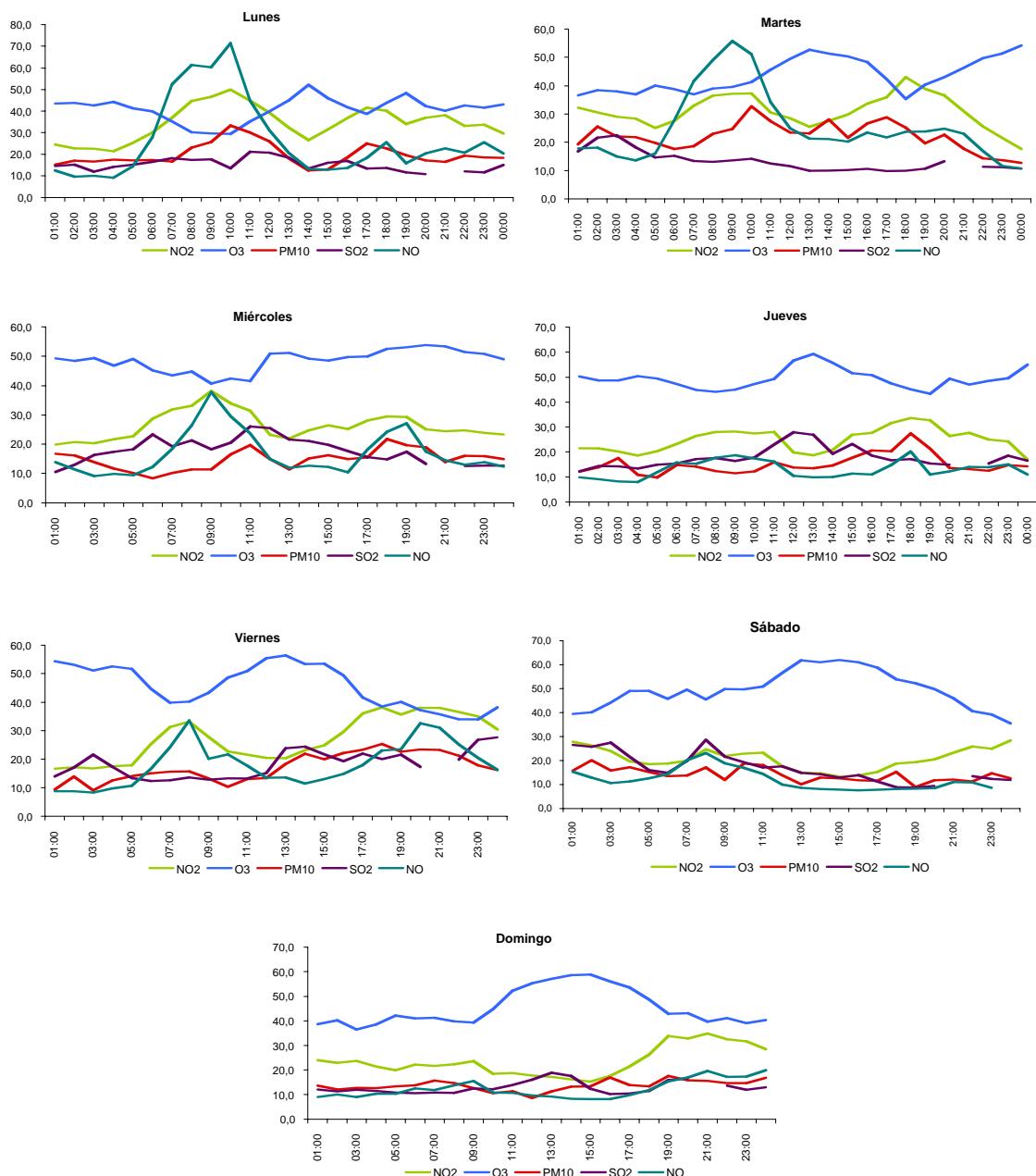


Figura V.8. Medidas horarias de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para cada día de la semana a partir de los datos registrados por la estación de Abanto entre Septiembre y Diciembre del 2002.

El SO_2 se mantiene muy bajo y constante a lo largo de todo el día, evidenciando que no existen importantes fuentes de este contaminante en las inmediaciones de la zona estudiada de Abanto.

V.d. Patrones estacionales

En la **Figura V.9** se muestra la evolución estacional de los niveles horarios de SO_2 , NO , NO_2 y O_3 durante el periodo de estudio (Diciembre de 2001 a Noviembre de 2002).

Los niveles de O_3 muestran los valores más altos durante los meses de verano debido a la mayor radiación. Esta pauta es similar a la observada en otras estaciones de fondo urbano en Europa (Alonso et al., 2000, Gangoiti et al., 2002).

La tendencia que muestran el NO y el NO_2 es inversa a la del O_3 indicando que la fuente contaminante en óxidos de nitrógeno es una fuente local, además durante el periodo invernal el NO muestra dos máximos diarios, uno por la mañana en torno a las 9 horas (hora solar) y otro por la tarde en torno a las 22 horas, mientras que en verano el máximo de la tarde desaparece lo que podría ser debido a que la mayor cantidad de ozono en la atmósfera por la tarde durante los meses de verano favorece la rápida transformación de NO en NO_2 .

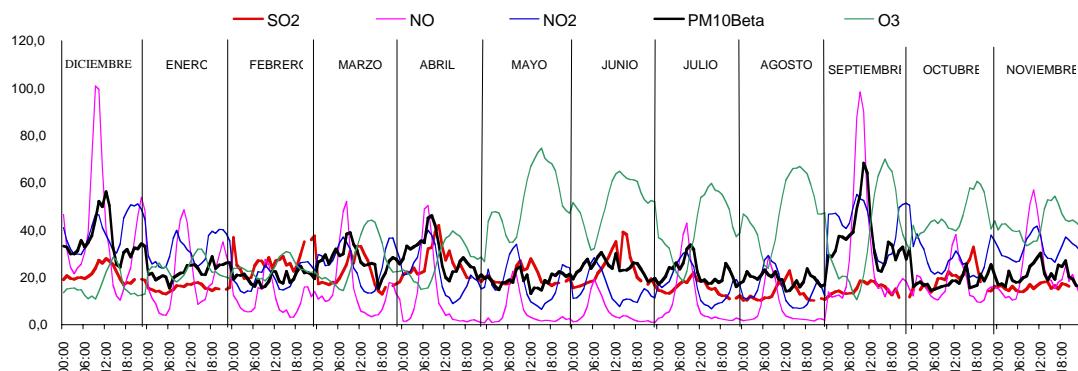


Figura V.9. Evolución estacional de los niveles horarios (hora solar) de SO_2 , NO , NO_2 y O_3 durante el periodo de estudio (Diciembre de 2001 a Noviembre de 2002).

En cuanto al SO_2 se observa que durante los meses de invierno los picos son inversos al O_3 y parecen coincidir con los del NO y NO_2 . Sin embargo en verano se produce un desacoplamiento de manera que el máximo de SO_2 se registra entre las 12 y las 15 horas (hora solar) cuando los niveles de O_3 son altos. Esto indicaría, por un lado, una fuente diferente para SO_2 y óxidos de nitrógeno y, por otro, una posible influencia de las brisas en la concentración del SO_2 .

Con objeto de estudiar en detalle estas posibles diferencias estacionales, en la **Figura V.10** se han representado las medias horarias de contaminantes gaseosos y partículas para dos meses tipo: Enero y Julio de 2002.

En la parte superior de la Figura se han representado conjuntamente los dos óxidos de nitrógeno con objeto de determinar si todo el NO_2 puede proceder de una fuente local de NO o bien puede haber aportes externos que lleguen a Abanto en forma de masas de contaminantes envejecidas.

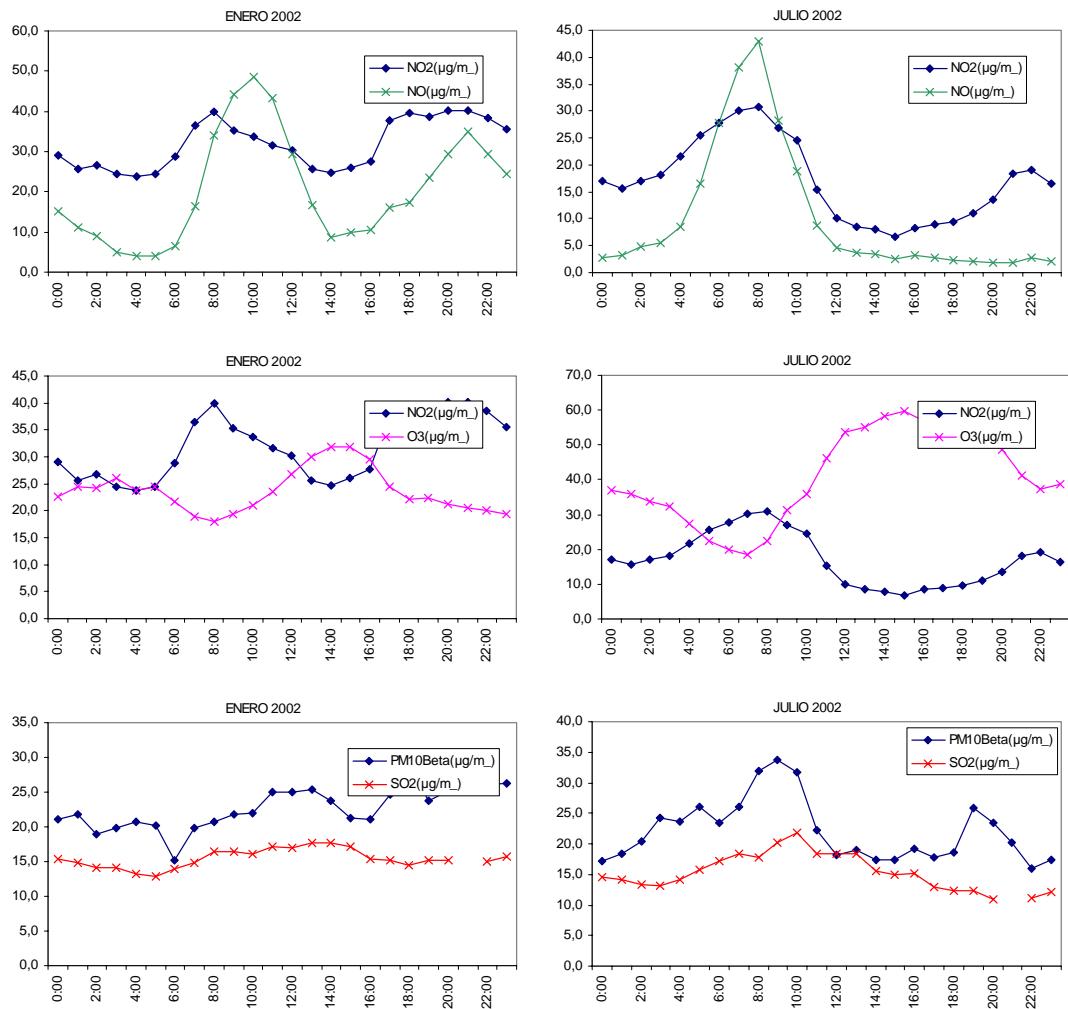


Figura V.10. Evolución diaria de los niveles de óxidos de nitrógeno, NO_2 y O_3 , partículas y SO_2 .

Puede apreciarse cómo, independientemente del periodo del año en el que nos encontremos, en torno a las 9 horas (hora solar) se produce un gran pico simultáneo de NO y NO_2 que correspondería, por tanto, al tráfico o una fuente industrial local que contamine en óxidos de nitrógeno.

Además, se aprecia perfectamente que para los meses de invierno hay un segundo pico de ambos contaminantes por las tardes. Para los meses de verano el segundo pico de NO desaparece debido a que la mayor cantidad de ozono en la atmósfera favorece la rápida transformación de NO en NO_2 .

El segundo de los diagramas muestra la relación inversa existente entre NO_2 y O_3 independientemente del periodo del año, reafirmando el origen local de la fuente de óxidos de nitrógeno.

Por último, en la **Figura V.10** se muestran las medias horarias de niveles de partículas en suspensión y SO₂ para los mencionados meses. Puede apreciarse cómo los niveles de ambos se mantienen bastante constantes a lo largo del día, sobre todo en invierno. En el mes de Julio las partículas sí que muestran dos picos que parecen coincidir con los de óxidos de nitrógeno, pero en Enero no se observa ninguna tendencia.

V.e. Relaciones entre la concentración de partículas, gases contaminantes y variables meteorológicas

Utilizando los datos disponibles para la estación de Abanto suministrados por el Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco, se ha llevado a cabo un estudio de las correlaciones entre los valores horarios para los distintos contaminantes gaseosos, PM10 (Beta) y los parámetros meteorológicos medidos durante los meses de Diciembre 2001 a Noviembre 2002. Los resultados del estudio de correlación se sintetizan en la **Tabla V.4**.

Tabla V.4. Coeficientes de correlación de Pearson para las concentraciones de contaminantes y datos meteorológicos.

		T	H	PM10 Beta	SO2	NO	NO2	O3	Dir. Viento	Vel. Viento
Coef. corr. N	T	1 365								
Coef. corr. N	H	- 0,092 365	1 365							
Coef. corr. N	PM10 Beta	- 0,019 364	0,145 364	1 364						
Coef. corr. N	SO2	- 0,209 364	0,185 364	0,261 364	1 364					
Coef. corr. N	NO	- 0,197 364	0,082 364	0,737 364	0,164 364	1 364				
Coef. corr. N	NO2	- 0,181 364	0,074 364	0,715 364	0,216 364	0,827 364	1 364			
Coef. corr. N	O3	0,466 364	- 0,086 364	0,423 364	- 0,221 364	0,549 364	0,577 364	1 364		
Coef. corr. N	Dir. Viento	0,026 365	0,311 365	- 0,460 364	0,104 364	- 0,508 364	- 0,588 364	0,378 364	1 365	
Coef. corr. N	Vel. Viento	- 0,011 365	- 0,166 365	- 0,374 364	0,129 364	- 0,398 364	- 0,504 364	0,357 364	0,408 365	1 365

N: número de datos (diciembre 2001-noviembre 2002)

Las correlaciones más altas se dan entre las partículas en suspensión (PM10) y los óxidos de nitrógeno, NO₂ y NO. Debido a que este último contaminante se relaciona principalmente con el tráfico, es de suponer que una parte del PM10 registrado en Abanto tenga origen en dicha fuente, mientras

que una proporción menor se relacionaría con los procesos de combustión (SO_2).

El NO_2 presenta valores de correlación positivos y altos aunque con el NO , su precursor, mientras que el SO_2 presenta valores de correlación relativamente bajos con el resto de los contaminantes, y no muestra ninguna correlación con el ozono.

En cuanto a la relación entre los contaminantes y las variables meteorológicas, podemos observar cómo, en efecto, la dispersión podría afectar mayormente a los óxidos de nitrógeno y, en menor medida, al PM10, que muestran la correlación más negativa con la velocidad del viento.

Las partículas en suspensión prácticamente no muestran ninguna correlación con la temperatura, lo que, en principio, permitiría excluir el carácter secundario del PM10 como resultado de la actuación de reacciones de tipo fotoquímico.

Por último, se han analizado las posibles relaciones entre las concentraciones de contaminantes y la dirección del viento. Para ello se ha elaborado para cada mes una serie de rosas de los vientos en las cuales se representa la concentración del contaminante en cuestión con respecto a la dirección de origen del mismo. Estos esquemas permiten visualizar de manera muy gráfica la situación de las posibles fuentes de contaminantes con respecto a la localización de la estación de control.

En las **Figuras V.11 a V.14** se incluyen, sobre un mapa de la zona, las rosas de partículas y otros contaminantes atmosféricos en función de la dirección del viento medidos en la estación de Abanto para algunos meses representativos del período estudiado, en concreto para los meses de Enero-Febrero y Mayo-Junio de 2002, respectivamente. En las Figuras se indica la situación de la refinería de Petronor y la acería Nervacero, las cuales, junto con el tráfico, son dos de los posibles focos de contaminación de la zona dada la proximidad al punto de muestreo.

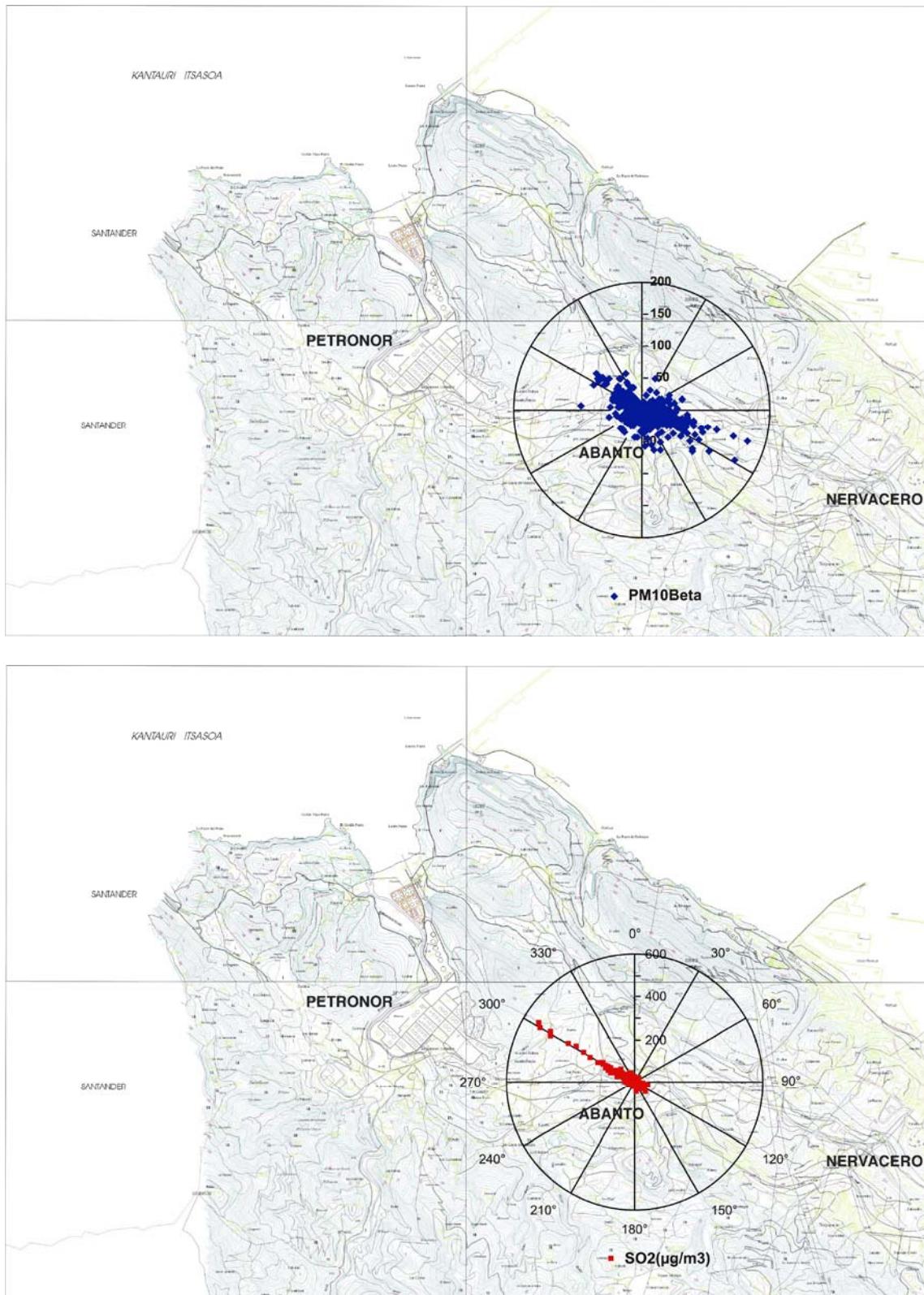


Figura V.11. Rosas de partículas y contaminantes atmosféricos (PM10 y SO₂) en función de la dirección del viento para los meses de Enero y Febrero de 2002.

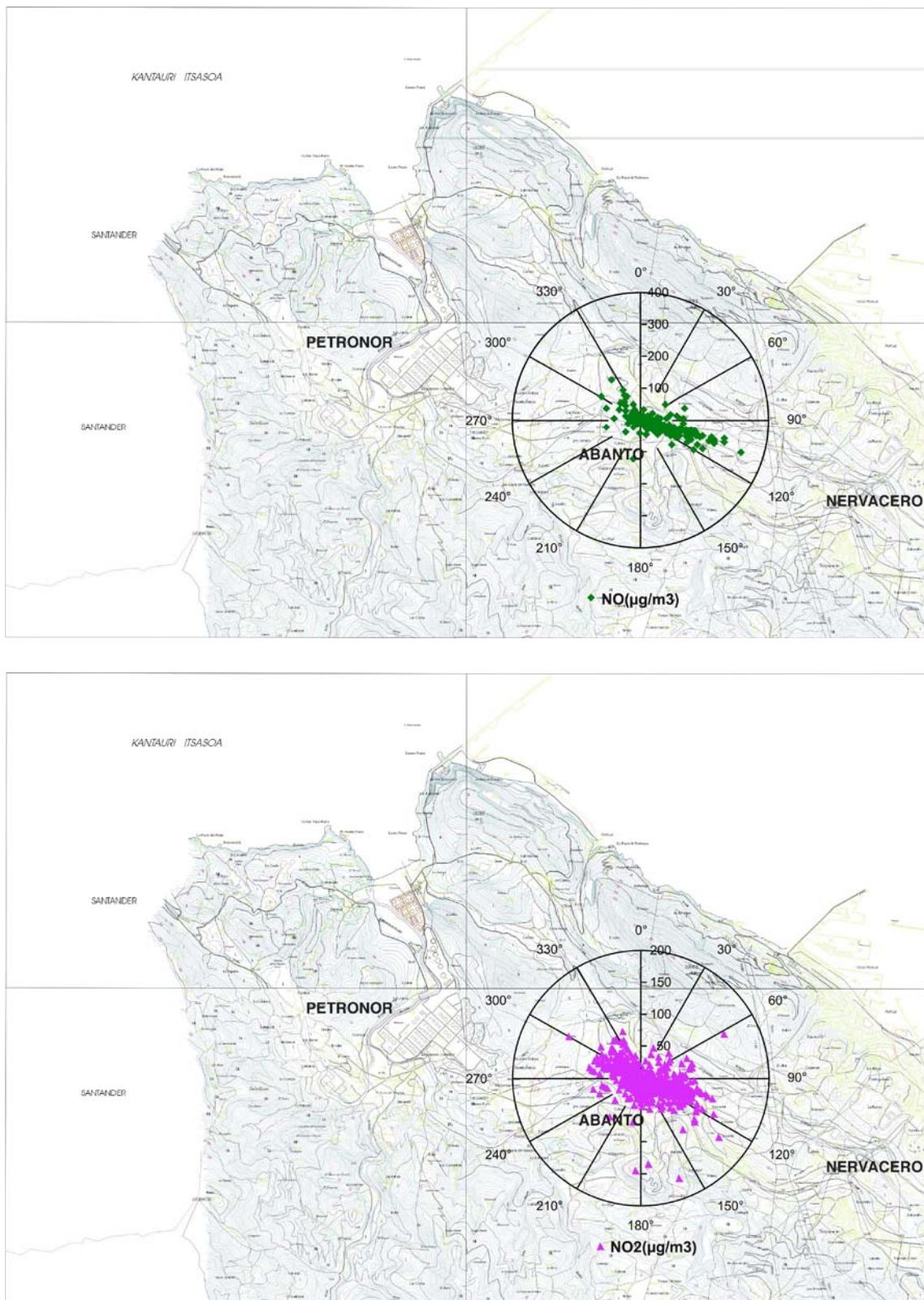


Figura V.12. Rosas de partículas y contaminantes atmosféricos (NO y NO_2) en función de la dirección del viento para los meses de Enero y Febrero de 2002.

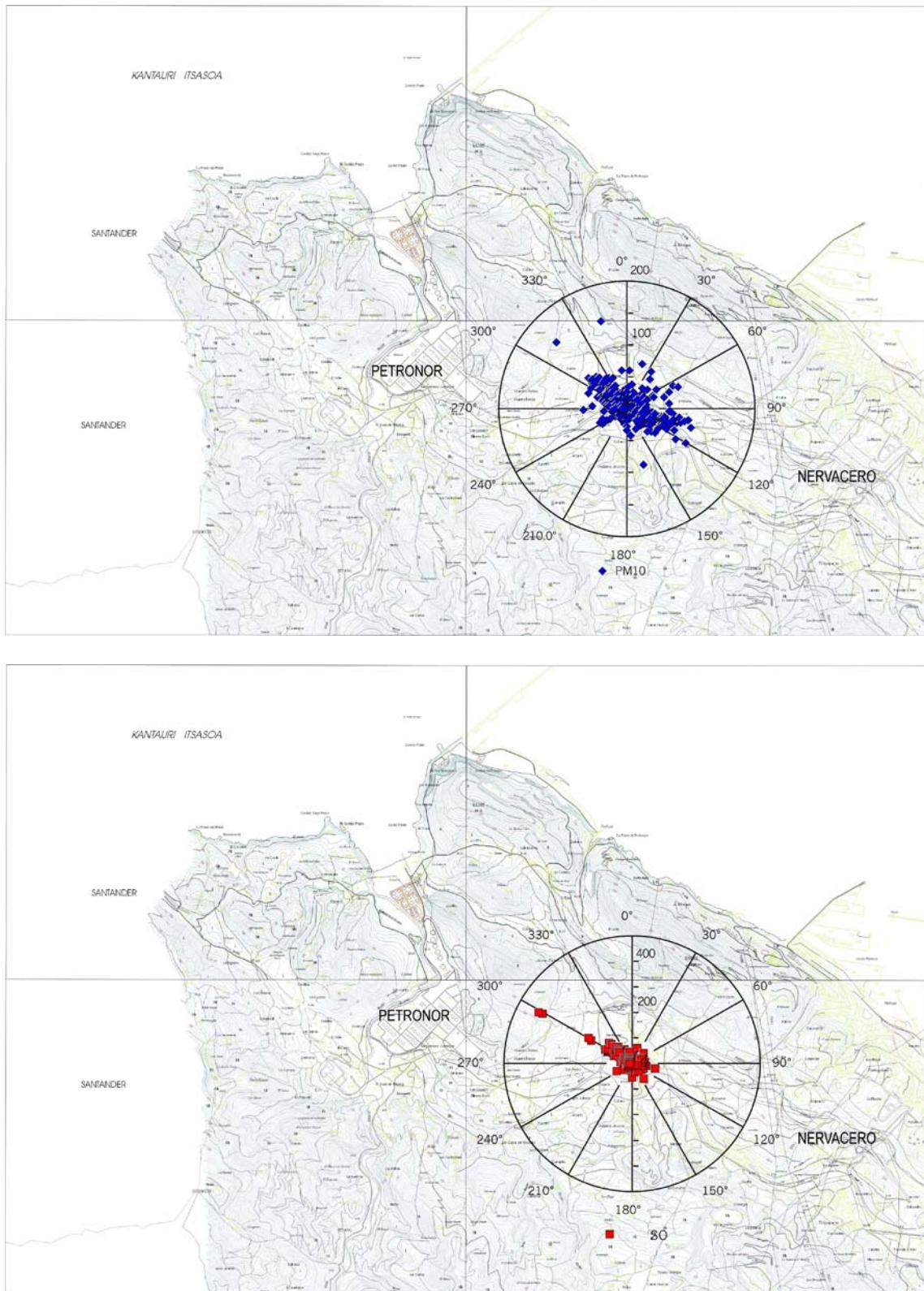


Figura V.13. Rosas de partículas y contaminantes atmosféricos (PM10 y SO₂) en función de la dirección del viento para los meses de Mayo y Junio de 2002.

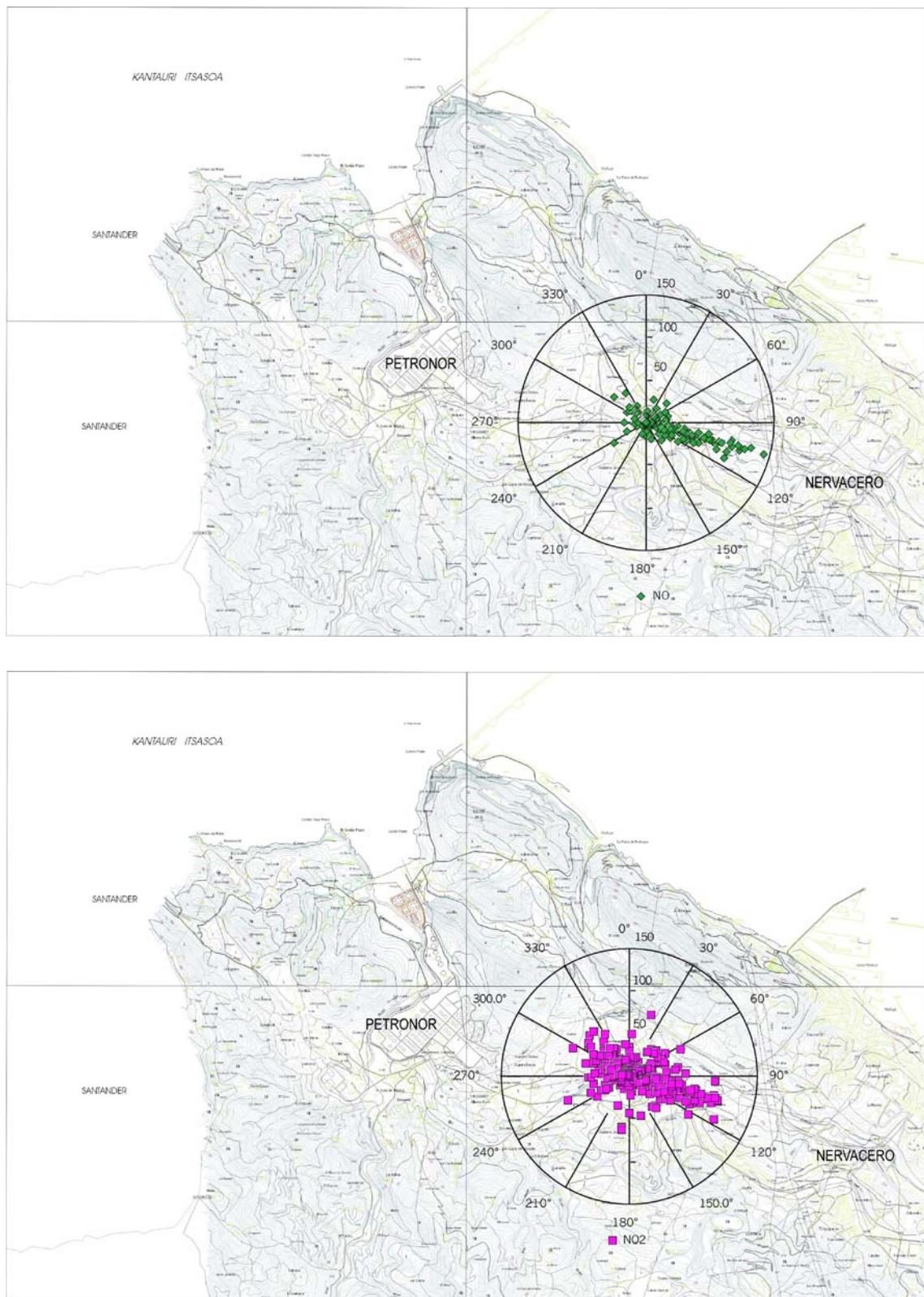


Figura V.14. Rosas de partículas y contaminantes atmosféricos (NO y NO₂) en función de la dirección del viento para los meses de Mayo y Junio de 2002.

Las **Figuras V.11 a V.14** permiten hacer una serie de consideraciones:

En primer lugar, que las concentraciones elevadas de partículas y otros contaminantes se orientan paralelamente a la dirección del Valle del Nervión. Este flujo de contaminantes marcado por la orografía es característico del País Vasco (ej., Llodio, Viana et al., 2003).

La **Figura V.15** muestra claramente, en efecto, la emisión de humos a mediados de Noviembre de 2002 desde la refinería de Petronor en dirección hacia el mar (N-NO), esto es en dirección opuesta respecto a la posición de la estación de Abanto. En ese tipo de situaciones (vientos del S en sentido amplio), los aportes de MPA procederían lógicamente de los focos situados hacia el S-SE del punto de muestreo siguiendo la trazada del valle.



Figura V.15. Emisión de humos procedentes de la refinería de Petronor en dirección hacia el mar (N-NE) en Noviembre de 2002.

En segundo lugar que, si bien se han observado algunas diferencias en cuanto a concentración de contaminantes en los períodos de invierno y verano, las fuentes se mantienen prácticamente idénticas a lo largo del año y son:

- SO_2 , del cual existe una fuente muy importante que da lugar a concentraciones medias horarias en Abanto de hasta $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ situada en una dirección N300 desde la cabina de Abanto. Si nos fijamos en el mapa incluido en las Figuras podemos comprobar que esa traza coincide perfectamente con la situación de la refinería Petronor.

- NO, la fuente de monóxido de carbono se sitúa en una dirección N110 desde la cabina y da lugar a concentraciones medias horarias en Abanto de hasta 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ coincidiendo con la situación de la acería Nervacero. En misma dirección estaría la dirección de procedencia de cualquier masa de contaminantes del gran Bilbao. Sin embargo, teniendo en cuenta la rápida oxidación de NO a NO_2 la fuente tiene que ser una fuente cercana, siendo la acería el foco más próximo a la estación de medida. Esta orientación tan definida para el NO descarta el tráfico como principal foco para este contaminante, ya que la estación de Abanto se encuentra rodeada desde el Noroeste al Sudeste por la Autovía Bilbao-Santander, de tráfico muy intenso.
- NO_2 , no muestra un origen tan marcado como los contaminantes anteriores. Los valores altos definen la traza del valle tanto para los meses de verano como invierno, si bien es cierto que en verano los valores más altos podrían proceder mayoritariamente del Sudeste indicando una posible influencia de las brisas en las concentraciones de este contaminante. Los posibles focos, además del tráfico que en este caso no puede descartarse, se situarían de nuevo al Sudeste (Nervacero o el gran Bilbao) y al Noroeste (Petronor).
- PM10, tampoco muestra un origen muy definido. De nuevo marca la traza del valle si bien en verano también hay valores altos procedentes del Nordeste, por lo que de nuevo los posibles focos serían el tráfico, Nervacero o el gran Bilbao al Sudeste y Petronor al Noroeste.

V.f. Interpretación de series mensuales

Paralelamente al muestreo de material particulado se realizó una interpretación del origen de las masas de aire que afectaron a la estación de Abanto durante el periodo de estudio, día a día, mediante mapas meteorológicos y de retrotrayectorias. El modelo para la determinación de retrotrayectorias utilizado es el HYSPLIT, versión 3, con cálculos de intervalos de 6 horas tomando el transporte realizado los 5 días anteriores. Las alturas de partida de las retrotrayectorias isentrópicas son 750, 1500 y 2500 m de altura sobre la superficie terrestre.

Además, la detección de intrusiones de masas de aire con altos niveles de partículas procedentes de los desiertos del Sahara o Sahel se realizó utilizando los mapas de índices de aerosoles de la NASA (TOMS, Herman et al., 1997), los mapas de concentración de aerosoles en Europa obtenidos mediante simulaciones SKIRON (Kallos et al., 1997), los mapas de espesor óptico de aerosoles y de polvo en superficie de la Meteorology Division del Naval Research Laboratory, USA, y por las imágenes satélite SeaWiFS de la NASA (McClain et al., 1998).

En el caso del País Vasco esta metodología, que incluye la utilización de mapas meteorológicos, mapas de aerosoles e imágenes de satélite, resulta

fundamental a la hora de detectar episodios de transporte de material particulado desde África, dada la fina granulometría que en muchas ocasiones presentan estas partículas al llegar a esta zona y su interferencia con episodios antropogénicos locales (Viana et al., 2003).

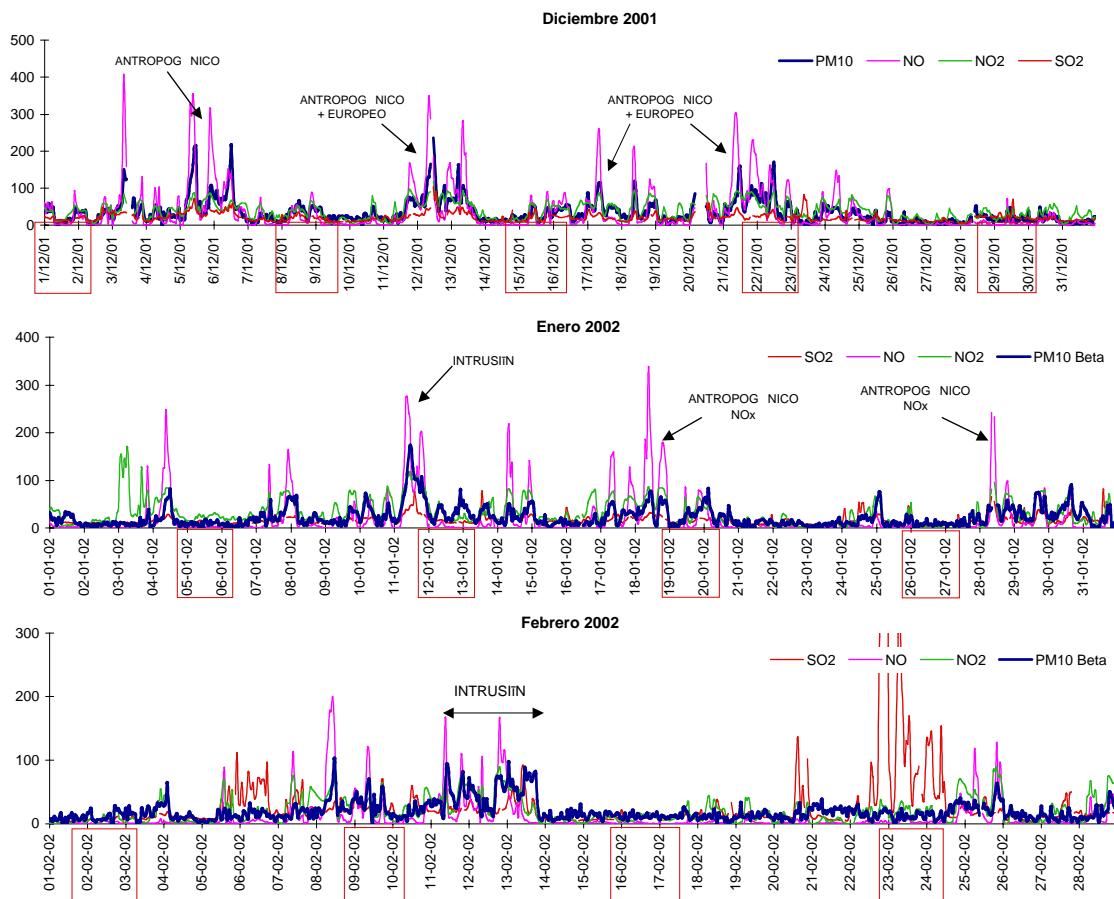


Figura V.16. Series temporales de niveles horarios de PM10 y contaminantes gaseosos para los meses de Diciembre de 2001 y Enero y Febrero de 2002. Se indican los episodios antropogénicos y las intrusiones de masas de aire de origen africano. En el caso de los episodios antropogénicos se indica con que contaminante gaseoso están correlacionados.

Las **Figuras V.16 a V.19** muestran las series temporales de partículas y contaminantes para cada uno de los meses que abarca el periodo de estudio. En el caso de Diciembre de 2001, la situación de estabilidad anticiclónica bajo la que se encontraba el País Vasco favoreció la acumulación de contaminantes locales (tal y como reflejan los elevados contenidos en NO), lo que además se vio acentuado con la llegada de una masa sulfatada procedente del centro de Europa.

El día 11 de Enero de 2002 se registró la intrusión de una masa africana en el País Vasco que afectó a los niveles de partículas. En el correspondiente gráfico se puede comprobar cómo este episodio coincide con uno de contaminación local por NO, pero el mismo gráfico muestra otros episodios de contaminación antropogénica local por ese gas que no dan lugar a concentraciones tan importantes de partículas (episodios del 18 y 28 de Enero).

Gran parte del material particulado atmosférico tendría, por tanto, para el día 11 un origen mineral africano.

En Febrero, únicamente se registró un episodio de contaminación de origen externo que fue la intrusión sahariana que tuvo lugar del 11 al 13. Destaca además un periodo entre los días 22 y 24 con niveles altísimos de SO₂ y en el que, en cambio, los niveles de material particulado atmosférico se mantuvieron bajos. En cambio, los niveles altos de NO sí aparecen acompañados por picos de PM10 por lo que, en principio, la contaminación local en partículas podría proceder en gran parte de la misma fuente que contamina en NO y, en mucha menor, medida de la que contamina en SO₂.

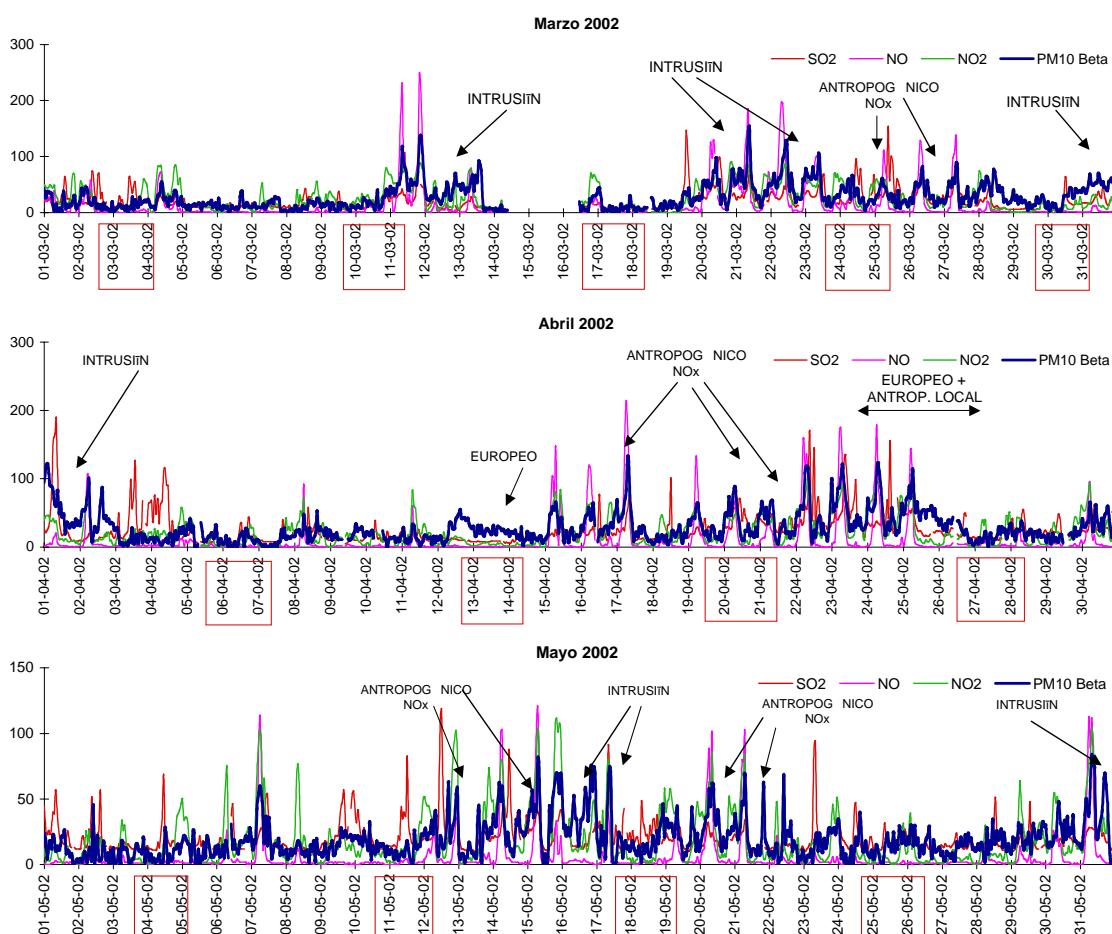


Figura V.17. Series temporales de niveles horarios de PM10 y contaminantes gaseosos para los meses de Marzo, Abril y Mayo de 2002. Se indican los episodios antropogénicos y las intrusiones de masas de aire de origen africano. En el caso de los episodios antropogénicos se indica con que contaminante gaseoso están correlacionados.

Durante el mes de Marzo de 2002 se registraron tres episodios de advección africana: 11-12 de Marzo, 20-23 de Marzo y el último con comienzo el día 31 (**Figura V.17**). De nuevo puede apreciarse cómo algunos de los picos más altos de partículas para esos días coinciden perfectamente con picos de NO, por lo que una parte del material particulado parece tener un origen antropogénico local. Sin embargo, para los días que hay intrusión se produce un aumento de los niveles de fondo de PM10 por lo que la concentración

resultante puede llegar a superar los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media diaria. Destaca el hecho de que algunos de los episodios de contaminación antropogénica local con valores altos, no sólo de partículas sino también de óxidos de nitrógeno (ej., 25-27 de Marzo de 2002), se producen en fin de semana (señalados mediante cuadros rojos en las figuras), reafirmando el hecho de que en Abanto debe existir una fuente de contaminación local antropogénica distinta del tráfico que contamine en estos compuestos.

El mes de Abril de 2002 nos permite comprobar la incidencia sobre los niveles de partículas de un episodio europeo que no parece acompañado de contaminación antropogénica local (12-14 de Abril) y compararlo con un episodio en el que se suman los efectos de la advección europea y el aumento de la contaminación antropogénica local debida a las condiciones de estabilidad atmosférica (22-26 de Abril). Podemos comprobar cómo mientras en el primero se produce un aumento del fondo de los niveles de partículas que se mantiene aproximadamente constante durante el periodo que dura la advección, en el segundo se suma el aumento del fondo a grandes picos de material particulado solapados con picos de NO_x , resultado de lo cual se registran en la estación de Abanto valores diarios de PM10 en torno a los $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Entre el 16 y el 17 de Mayo se registra una intrusión africana sobre el País Vasco, sin embargo, no se puede descartar una cierta contribución antropogénica a los niveles de partículas ya que la advección coincide con niveles altos de NO_2 . Se trataría, en cualquier caso, de una masa envejecida que podría provenir del gran Bilbao o de zonas más remotas que alcanzaran la estación de Abanto arrastradas por los vientos del Sur característicos de las advecciones africanas. A lo largo del mes se registraron varios episodios de niveles altos de partículas y óxidos de nitrógeno, uno de los cuales (11-12 de Mayo) tuvo lugar en fin de semana indicando de nuevo una fuente local distinta del tráfico.

Durante el mes de Junio de 2002 se registraron numerosas intrusiones de origen africano, tal y como refleja el correspondiente gráfico (**Figura V.18**), si bien sólo se superaron los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media diaria de PM10 en tres ocasiones, una de ellas el día 11 como resultado de un episodio antropogénico local con altos niveles de NO_x . Una de las pautas que se repiten a lo largo del periodo de estudio es que muchos de los picos de SO_2 se producen los fines de semana (p.e. 8-9 de Junio).

Durante el mes de Julio se registró una única advección externa que correspondió al episodio africano de los días 19 a 21. El resto de los picos en PM10 correspondieron a episodios locales de contaminación antropogénica siempre ligados a valores altos de óxidos de nitrógeno.

El día 7 de Agosto el equipo beta de Abanto registró un enorme pico de PM10 con valores medios horarios que alcanzaron los $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 2 de la madrugada hora solar y que no iba ligado a ningún otro contaminante. Ese día se realizó también el muestreo manual mediante el captador de alto volumen MCV. En 24 horas de muestreo se recogieron $17 \mu\text{g PM10}/\text{m}^3$ frente a los $57 \mu\text{g PM10}/\text{m}^3$ que se obtienen para el mismo periodo mediante el equipo Beta.

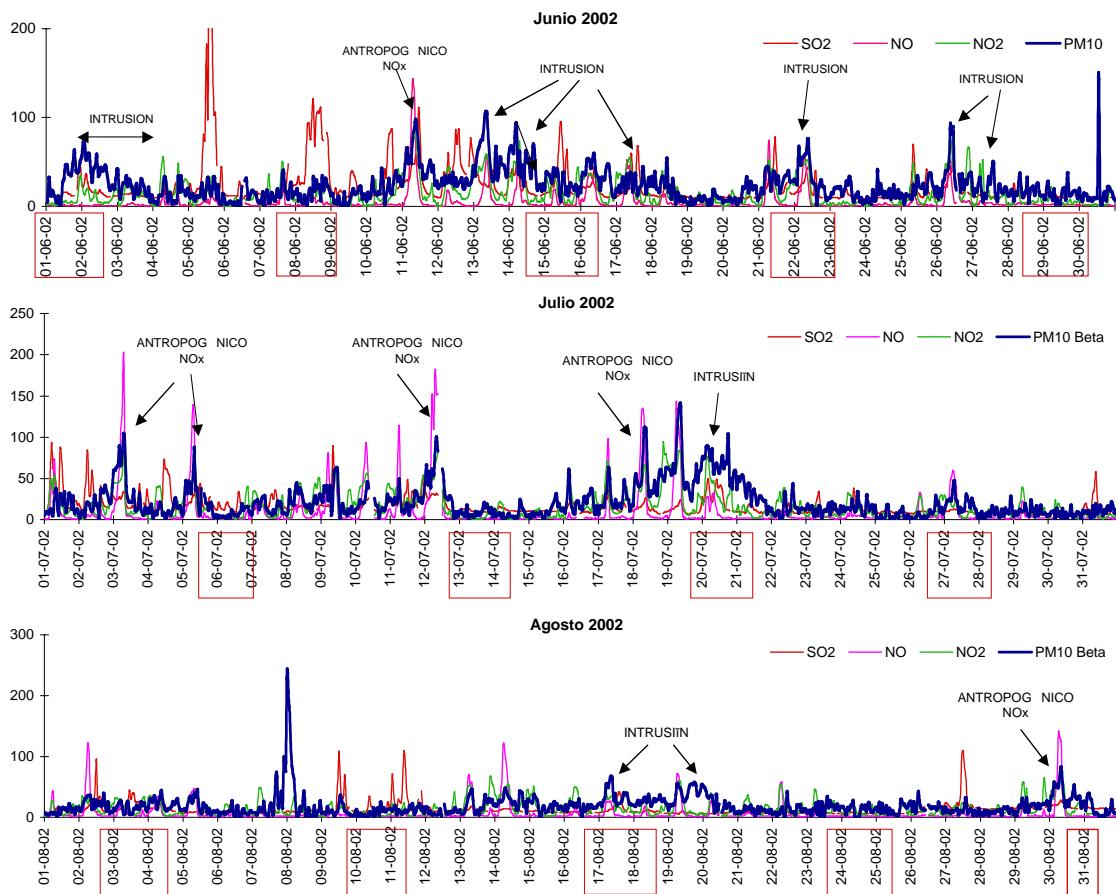


Figura V.18. Series temporales de niveles horarios de PM10 y contaminantes gaseosos para los meses de Junio, Julio y Agosto de 2002. Se indican los episodios antropogénicos y las intrusiones de masas de aire de origen africano. En el caso de los episodios antropogénicos se indica con que contaminante gaseoso están correlacionados. El mes de Octubre se señala la fecha de un incendio en la refinería de Petronor.

Por tanto, tal pico es un artificio derivado de algún problema de medida del equipo beta y no debe ser tomado en consideración. Además, entre el 16 y 20 de Agosto se pueden observar en Abanto los efectos de una intrusión africana con aumento de niveles de PM10 no ligados a ningún otro contaminante. Por último, en cuanto a este mes se refiere, el día 30 se registraba un pico de partículas ligado a valores altos de NO.

Durante el mes de Septiembre (**Figura V.19**) los picos de partículas estuvieron asociados a episodios de contaminación local antropogénica ligados a valores altos de NO. Se registró además una episodio sahariano a principios de mes y un episodio europeo el fin de semana del 28-29, que se distingue de los episodios de contaminación local por niveles mucho más bajos de NO.

El mes de Octubre es uno de los meses del año en que más intrusiones de origen africano se registraron en la Comunidad Autónoma del País Vasco. En efecto, a lo largo del mes pueden constatarse 3 que afectaron a los niveles de partículas registrados en Abanto: el día 8, el día 19 y entre el 27 y el 30.

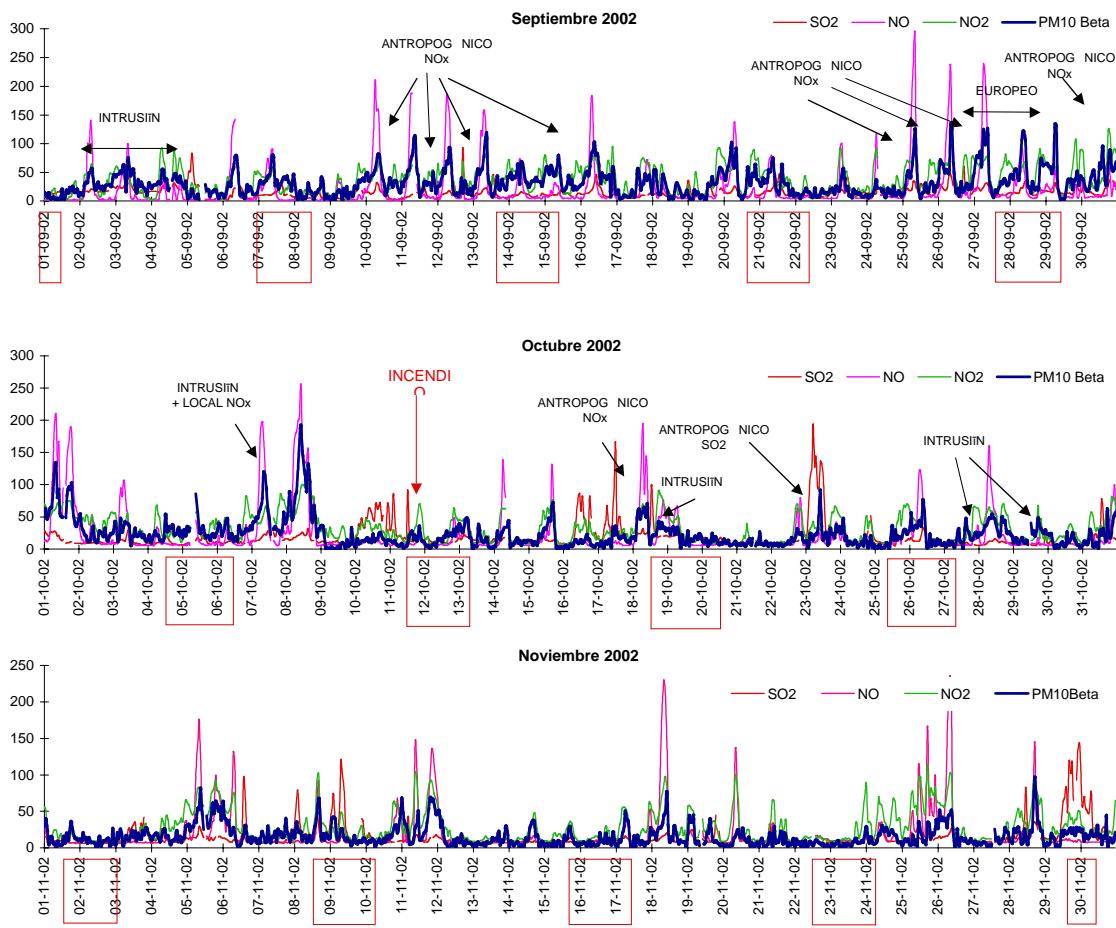


Figura V.19. Series temporales de niveles horarios de PM10 y contaminantes gaseosos para los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre de 2002. Se indican los episodios antropogénicos y las intrusiones de masas de aire de origen africano. En el caso de los episodios antropogénicos se indica con que contaminante gaseoso están correlacionados. El mes de Octubre se señala la fecha de un incendio en la refinería de Petronor.

Los valores más altos con medias horarias que llegaron a alcanzar los $200 \mu\text{g PM10/m}^3$ se registraron el día 8, día en el que también debe haber influencia de una fuente antropogénica, tal y como reflejan los altos valores de NO_x .

Además, el día 12 de Octubre al mediodía tuvo lugar en la refinería de Petronor próxima a la estación de Abanto un incendio. El gráfico de las series temporales para ese mes, donde se incluye en rojo la fecha del accidente, muestra de manera clara cómo tal incendio no afectó a la población de Abanto. Cabe destacar, por último, que el día 23 se registró un pico de partículas con valores medios horarios próximos a los $100 \mu\text{g PM10/m}^3$ que coincide en este caso con un pico de SO_2 , indicando que la fuente de este gas también puede contribuir a los niveles de partículas.

Por último, durante el mes de Noviembre de 2002 no se registraron episodios externos que afectaran a la estación de Abanto y todos los picos de PM10 aparecen relacionados con episodios de contaminación antropogénica local por NO.

La **Tabla V.5** muestra la frecuencia anual y niveles medios de PM10 registrados para los diferentes escenarios de transporte atmosférico distinguidos. AN, ANW, AW, ASW: advección del Atlántico N, NW, W y SW, respectivamente; NAF: advección africana; MED, transporte desde la cuenca mediterránea, EU: transporte desde Europa central, RE: regional. Mientras que la **Figura V.20** muestra los porcentajes de los escenarios definidos para el País Vasco tras agrupar todos los escenarios atlánticos: advección atlántica (AT), advección norteafricana (NAF), transporte desde la cuenca mediterránea (MED) y situaciones de influencia regional (RE).

La mayor frecuencia corresponde a episodios de advección atlántica que llegan a representar un 70 % de los días. Los escenarios europeos y norteafricanos representan el 14 y 12 % de los días, respectivamente, mientras que un 3 % corresponde a transporte desde la cuenca mediterránea y tan sólo un 1 % de las retrotrayectorias muestran un origen regional. Estos porcentajes son muy similares a los obtenidos para el periodo 1996-2000 y para el año 2001 con frecuencias que oscilaban entre 74-76 % AT, 7-8 % NAF, 11-15 % EU y 4-5 % ME (Viana et al., 2003).

Tabla V.5. Frecuencia anual y niveles medios de PM10 registrados para los diferentes escenarios de transporte atmosférico distinguidos. AN, ANW, AW, ASW: advección del Atlántico N, NW, W y SW, respectivamente; NAF: advección africana; MED, transporte desde la cuenca mediterránea, EU: transporte desde Europa central, RE: regional.

	ANW	AW	ASW	NAF	MED	EU	AN	RE
Frecuencia	23%	12%	13%	12%	3%	14%	12%	1%
PM10	23	30	28	31	21	40	28	15

La variación estacional para el periodo de estudio muestra pautas diferentes en función del escenario de transporte. Así, la advección atlántica se mantiene aproximadamente constante a lo largo del año. Los escenarios de transporte europeo se concentran en el mes de Diciembre de 2001 y los meses de Abril y Septiembre de 2002. Los episodios africanos presentan un máximo muy marcado para el mes de Junio y valores elevados para los meses de Febrero, Julio y Octubre, es decir, los meses en que clásicamente se producen las intrusiones africanas sobre la Península Ibérica.

La **Figura V.21** muestra los niveles medios de partículas registrados en la estación de Abanto en función del origen de las retrotrayectorias. Puede apreciarse cómo los niveles más altos son los que se registran bajo escenarios de transporte europeos con niveles medios de PM10 en torno a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y bajo escenarios africanos (NAF y ASW, en torno a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Los niveles más bajos corresponden a situaciones de influencia únicamente regional y de origen Mediterráneo, si bien ambos casos representan únicamente el 1 y el 3 %, respectivamente.

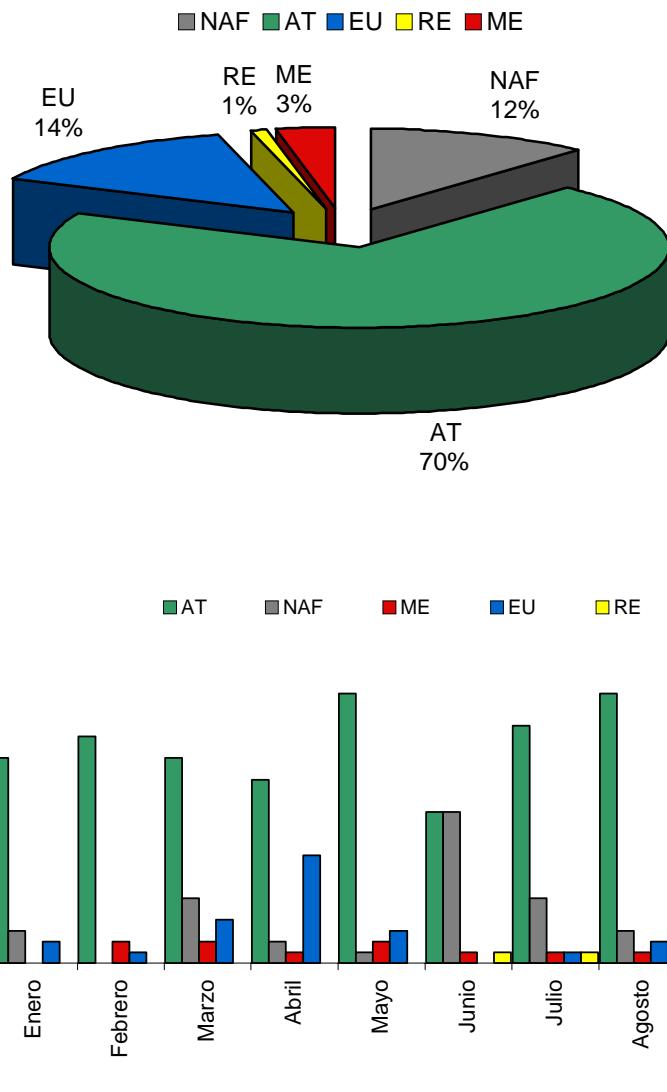


Figura V.20. Arriba: Frecuencia anual (en %) durante el periodo de estudio para los diferentes escenarios de transporte atmosférico distinguídos. Abajo: Variación mensual de la frecuencia (número de días) para dicho escenarios: AT: advección atlántica, NAF: advección africana; MED, transporte desde la cuenca mediterránea, EU: transporte desde Europa central, RE: regional.

La situación atmosférica más habitual para que se produzca la llegada de masas de aire centroeuropéo es que el País Vasco se encuentre bajo la influencia de un anticiclón de estancamiento como el que afectó a la Comunidad Autónoma en Diciembre de 2001. Estas situaciones de estabilidad impiden además la dispersión de los contaminantes, por lo que estos episodios europeos suelen ir también asociados a situaciones de contaminación local.

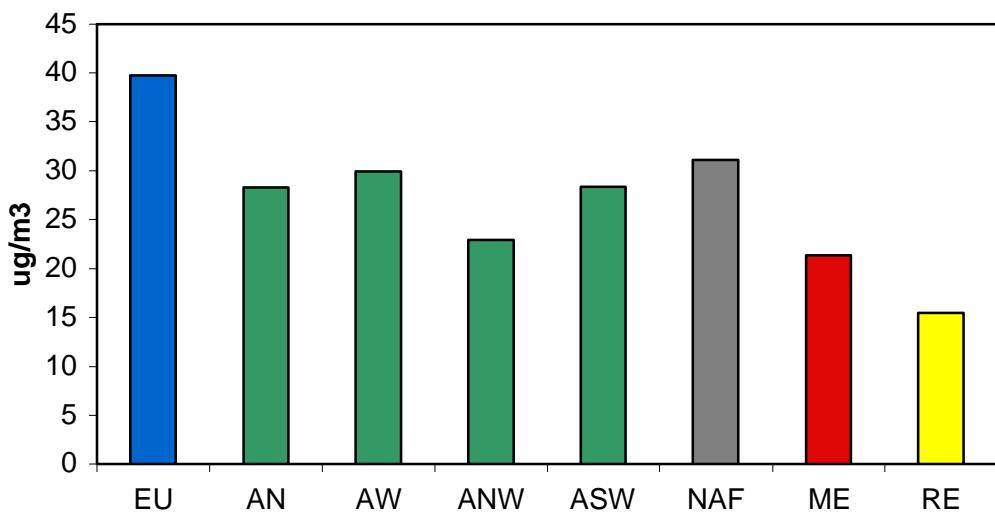


Figura V.21. Niveles medios de PM10 para el periodo de estudio en función de los escenarios de transporte atmosférico distinguidos. AN, ANW, AW, ASW: advección del Atlántico Norte, Noroeste, Oeste y Suroeste, respectivamente; NAF: advección africana; ME, transporte desde la cuenca mediterránea, EU: transporte desde Europa central; RE, regional.

V.g. Tipos de episodios detectados

El estudio de las series temporales obtenidas ha permitido identificar 4 tipos de episodios distintos con diferentes impactos en la calidad del aire ambiente en la Comunidad Autónoma del País Vasco.

1. Intrusiones africanas
2. Episodios de contaminación de origen antropogénico local
3. Episodios de contaminación de origen antropogénico externo (europeo)
4. Episodios con bajos niveles de partículas por paso de frentes/precipitación

A continuación se incluyen ejemplos representativos de cada uno de estos episodios identificados. Si bien el presente estudio se centra en la identificación de focos locales que puedan ser responsables de las superaciones de los valores límite, el estudio de estos tipos de episodios permite establecer cuales son las situaciones más propicias para que variables externas puedan interferir con las fuentes locales (episodios europeos e intrusiones africanas), los episodios marcados por la contribución de las fuentes locales (episodios de contaminación antropogénica local) y los episodios en que las condiciones atmosféricas impiden la acumulación de contaminantes (paso de frentes/precipitación).

1. Intrusiones africanas

El 8 de Octubre de 2002 se produjo un aumento simultáneo en los niveles de PM10 en las estaciones de Abanto, Llodio y Valderejo, de manera que los niveles registrados en la estación de fondo regional de Valderejo llegaron hasta valores medios horarios de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 (**Figura V.22**). En la estación de Abanto el valor medio diario de PM10 obtenido mediante el equipo Beta supera los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La combinación de un anticiclón sobre el Norte de África y una zona de bajas presiones al Oeste de la Península Ibérica propició la entrada de una masa cargada de partículas saharianas que, tal y como muestra la imagen del Seawifs para ese día, se produjo acompañada de importante nubosidad. Ni el TOMS ni el Skiron registran la intrusión que, en cambio, si que predicen el NAAPS y el DREAM. El mapa de retrotrayectorias para el día 8 de Octubre muestra un origen, en efecto, en el Sur de la Península Ibérica.

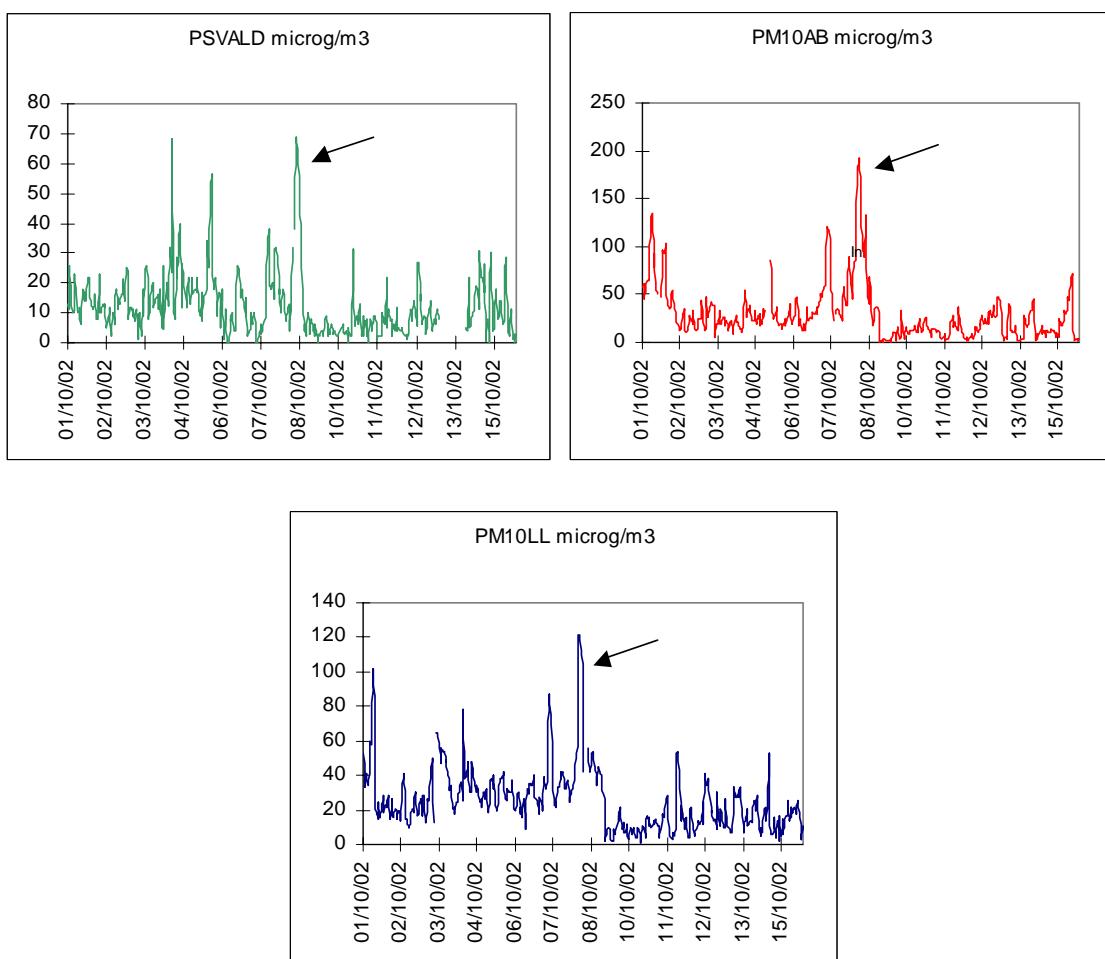


Figura V.22. (ver páginas siguientes) Evidencias de un episodio de intrusión de una masa de aire cargada de partículas de origen africano registrado en el País Vasco el 8 de Octubre de 2002.

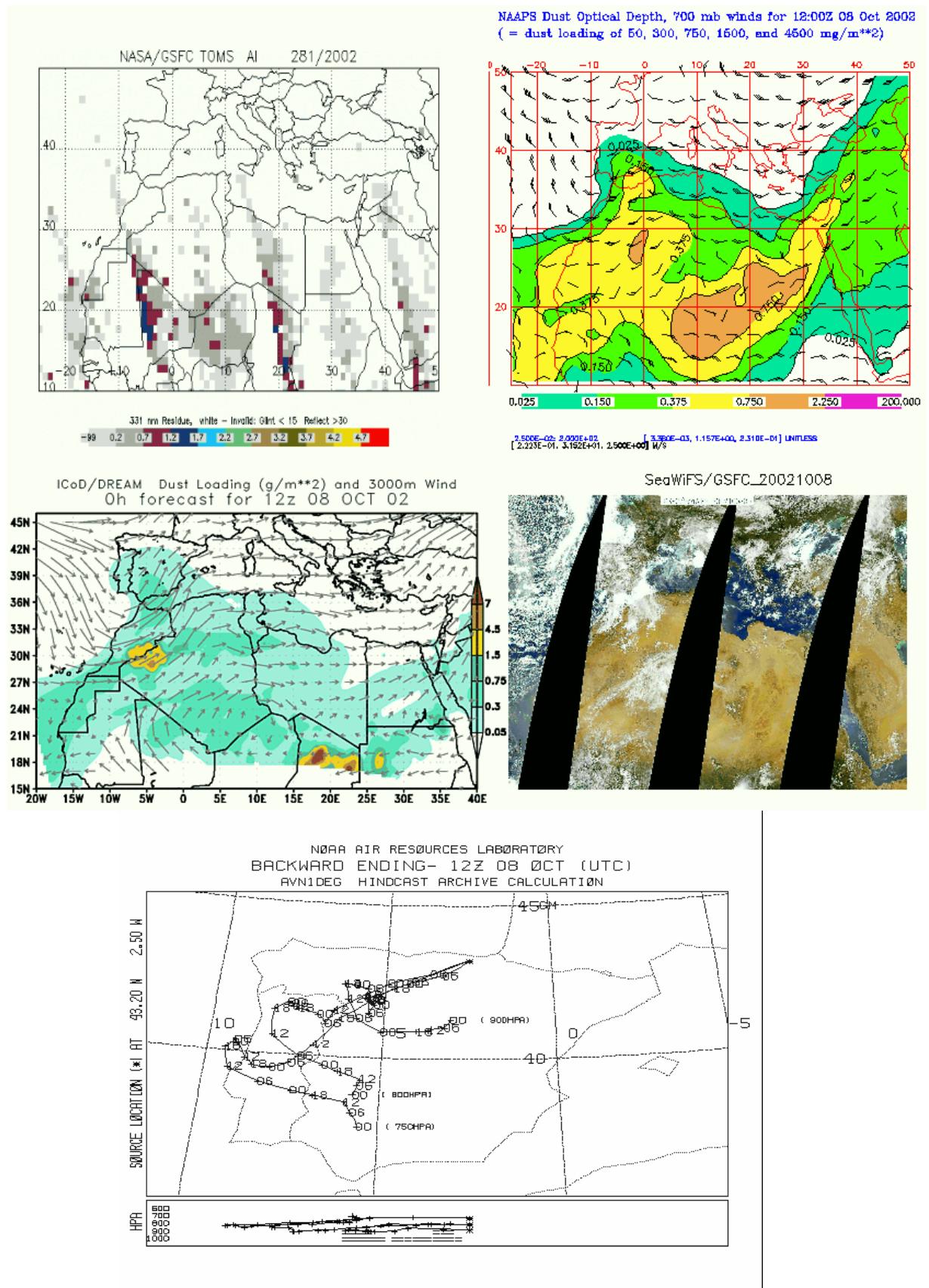


Figura V.22. (ver página siguiente) Evidencias de un episodio de intrusión de una masa de aire cargada de partículas de origen africano registrado en el País Vasco el 8 de Octubre de 2002.

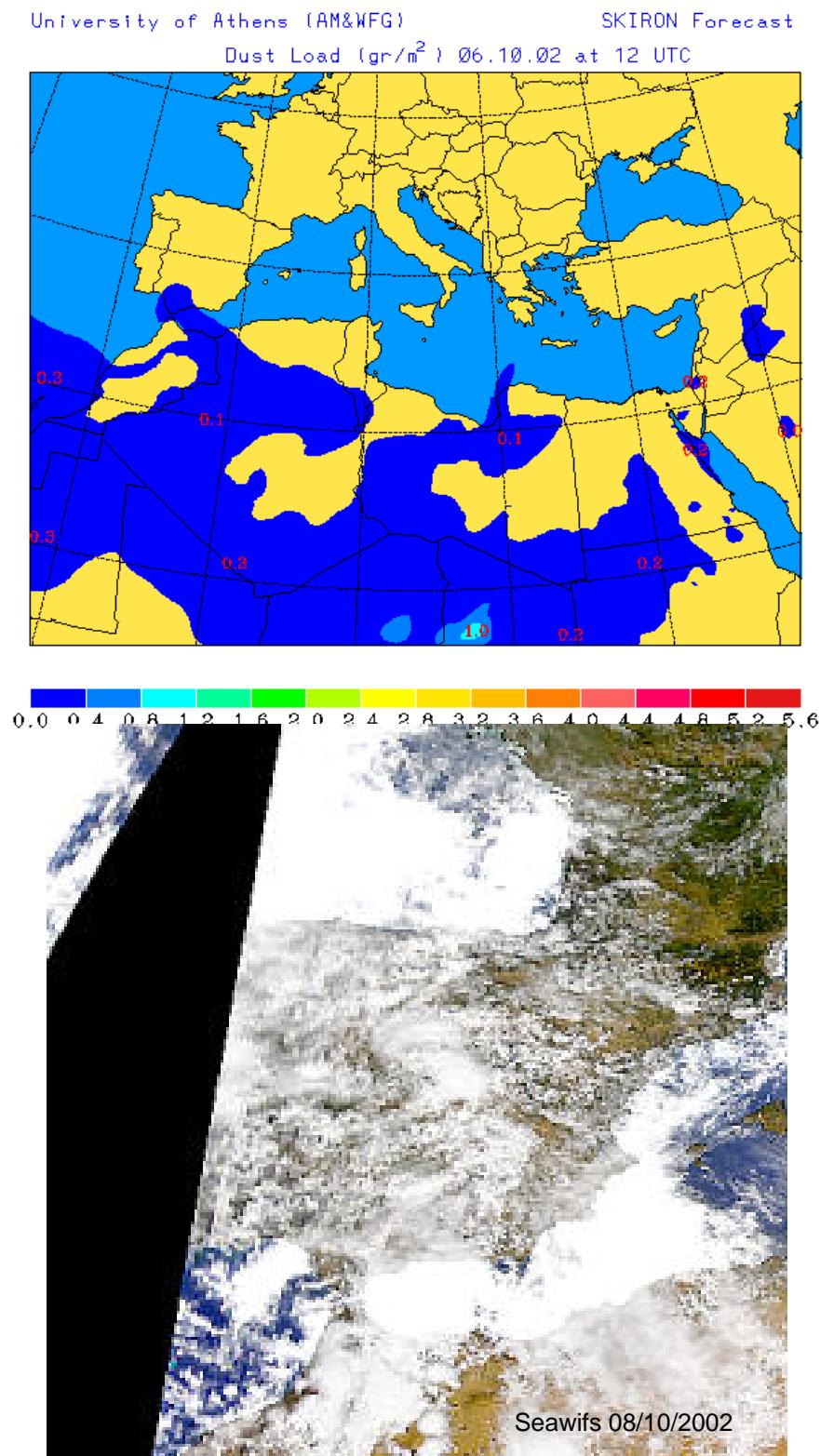


Figura V.22. Evidencias de un episodio de intrusión de una masa de aire cargada de partículas de origen africano registrado en el País Vasco el 8 de Octubre de 2002. Se incluyen los datos de niveles de partículas registrados en las estaciones de Valderejo (fondo regional), Abanto (fondo urbano) y Llodio (fondo urbano) con flechas que muestran la intrusión, mapa de retrotrayectorias, predicción del Skiron, fotografía del

Seawifs y en la página siguiente las predicciones del NAAPS y del DREAM junto con el mapa del TOMS y una imagen a mayor escala del Seawifs.

2. Episodios de contaminación de origen antropogénico local

Entre el 4 y 6 de Diciembre de 2001 se registró un importante episodio de contaminación antropogénica local en la estación de Abanto. En el diagrama de la **Figura V.23** puede observarse cómo el aumento de los niveles de PM10 registrados con valores medios horarios que llegan a alcanzar los $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ están acompañados por un importante aumento de los niveles de contaminantes gaseosos, especialmente NO. Si tenemos en cuenta la rápida oxidación de NO a NO_2 , resulta evidente el origen local de la contaminación.

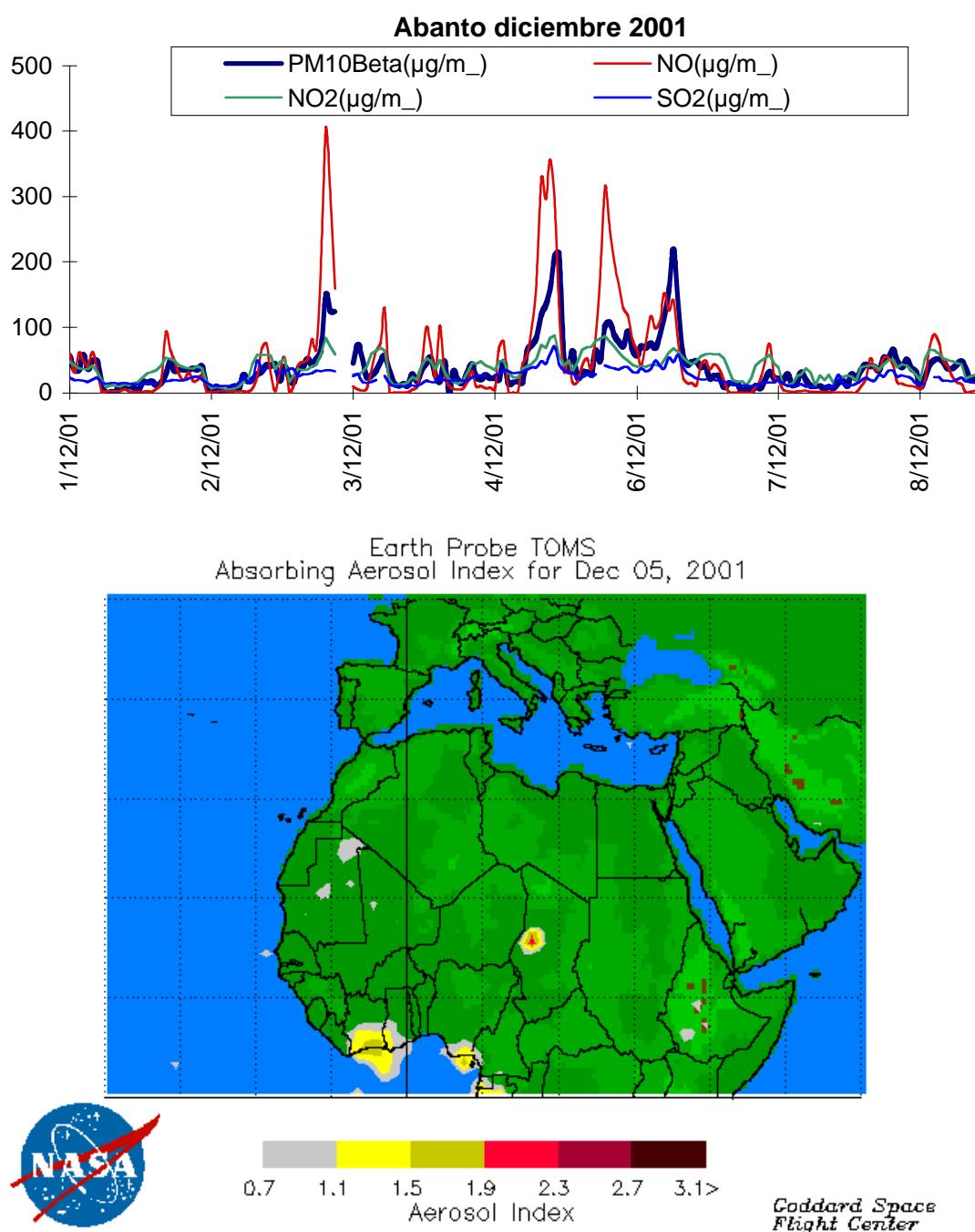


Figura V.23. (ver página siguiente) Niveles de partículas y contaminantes registrados en la estación de Abanto durante el episodio de contaminación antropogénica local del 4 al 7 de Diciembre de 2001.

En la Figura se incluye además el mapa del TOMS que muestra cómo las capas de la atmósfera se encuentran perfectamente limpias en toda Europa y en el Norte de África, excluyendo la posibilidad de que los niveles de partículas respondan a la llegada de una masa cargada de material particulado de origen africano. Por último, el mapa de retrotrayectorias muestra un origen atlántico que en principio es el escenario más propicio para que se limpie la atmósfera en la comunidad autónoma.

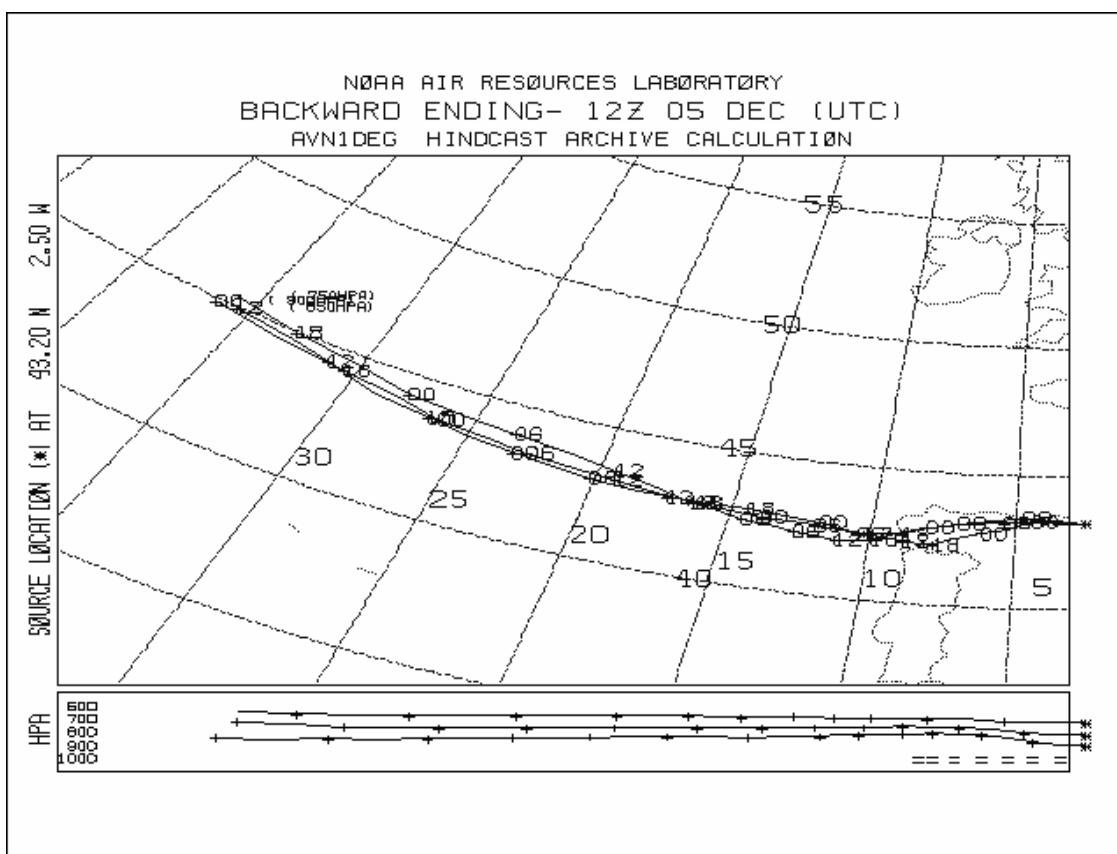


Figura V.23. Niveles de partículas y contaminantes registrados en la estación de Abanto durante el episodio de contaminación antropogénica local del 4 al 7 de Diciembre de 2001. El mapa del TOMS muestra las capas altas de la atmósfera limpias, mientras que las retrotrayectorias indican unas condiciones atmosféricas propicias para la ventilación de la contaminación.

3. Episodios de contaminación de origen antropogénico externo (europeo)

Entre el 8 y el 22 de Diciembre de 2001 se registró sobre el País Vasco un episodio sulfatado procedente del Centro de Europa como consecuencia del cual se produjo un aumento de las concentraciones de material particulado atmosférico en todas las estaciones de Control de la Calidad del Aire de la CAPV.

En la **Figura IV.24** se incluyen la evolución de las concentraciones de material particulado atmosférico medidas simultáneamente en 5 estaciones de la CAPV muy distantes entre sí. Normalmente, y dadas las condiciones atmosféricas particulares de cada una de ellas, estas estaciones muestran pautas de evolución de las concentraciones de material particulado atmósferico independientes. Sin embargo, podemos observar cómo a partir del día 11 de Diciembre se produjo en todas ellas un aumento simultáneo de la concentración de material particulado que se mantuvo muy alto hasta el día 13, con concentraciones para todas las estaciones y a todas las horas por encima de $50 \mu\text{g PM10/m}^3$, llegándose incluso a valores medios horarios en todas ellas por encima de $150 \mu\text{g PM10/m}^3$ el día 12.

Se incluye además en la **Figura IV.24** el mapa de retrotrayectorias en correspondiente al País Vasco para el día 12 de Diciembre de 2001. Durante todos los días entre el 8 y el 21 de Diciembre, sin excepción, las retrotrayectorias tienen un marcado origen en el Centro de Europa. Esto es excepcional para el País Vasco donde las condiciones meteorológicas habituales propician la entrada de masas de aire limpias del Noroeste. Tan sólo algunos días aislados al año las retrotrayectorias presentan un origen Europeo, pero salvo un caso excepcional como en el que nos ocupa, este origen se mantiene durante un periodo de dos semanas. Como consecuencia de las condiciones anticiclónicas, además apenas si llovió en esta Comunidad durante ese periodo, lo que hizo que el lavado de las partículas que normalmente se produce en esta región no tuviera lugar.

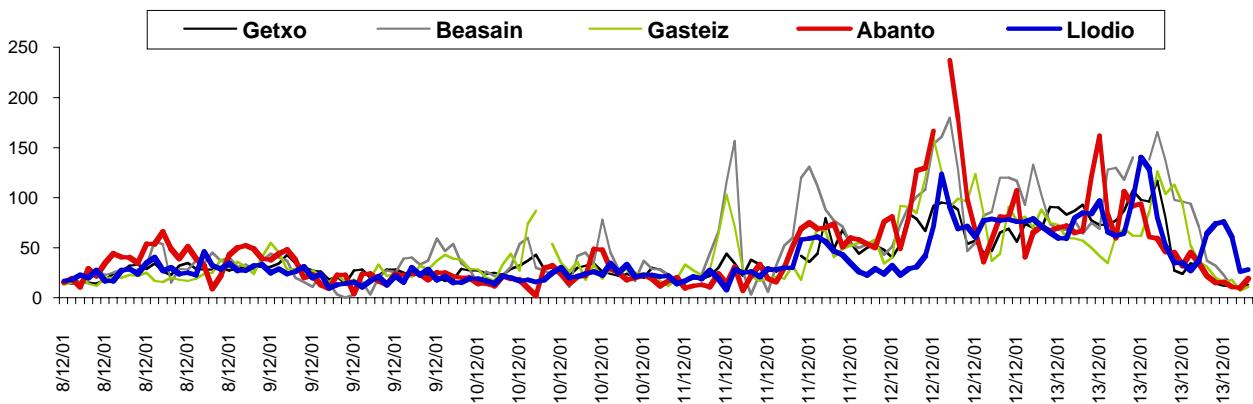


Figura V.24. (ver páginas siguientes) Episodio de contaminación antropogénica de origen europeo registrado en el País Vasco entre el 10 y el 22 de Diciembre de 2002.

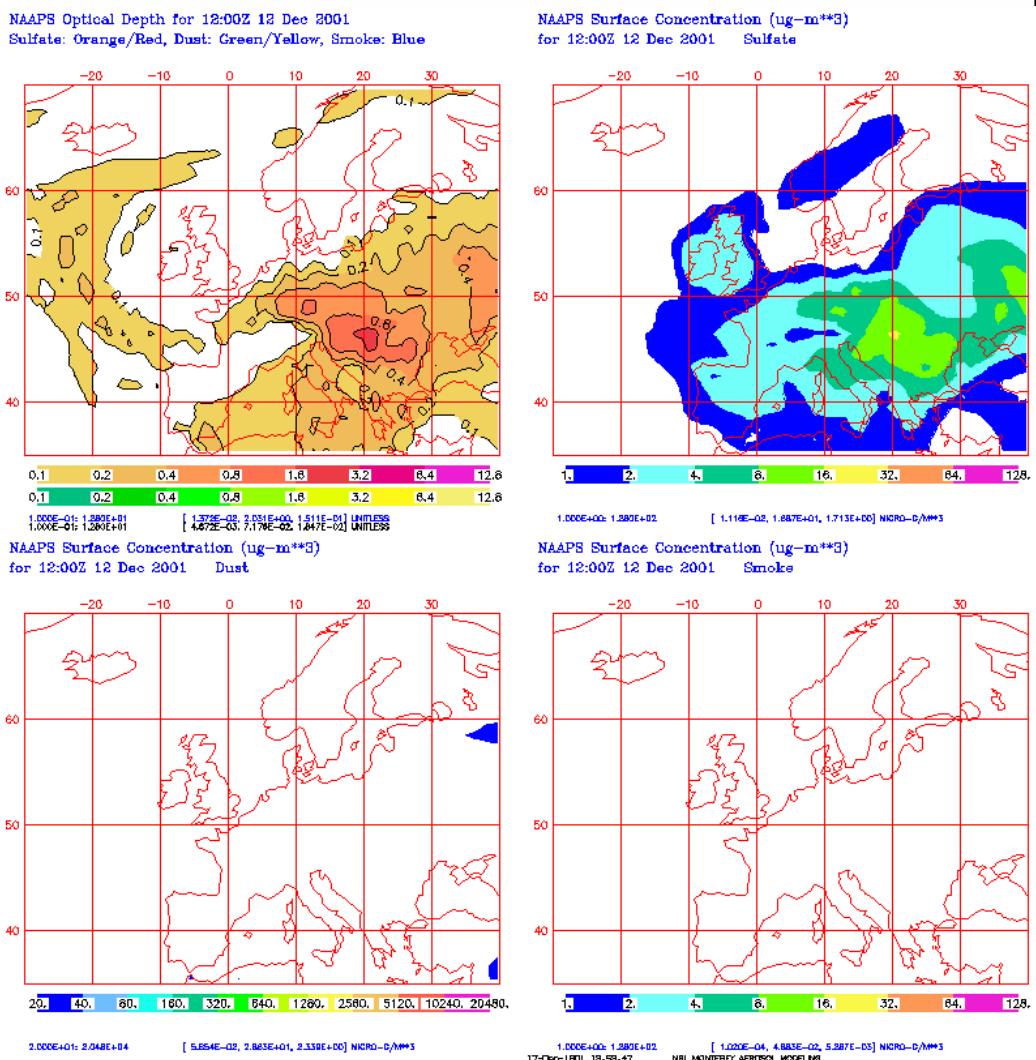
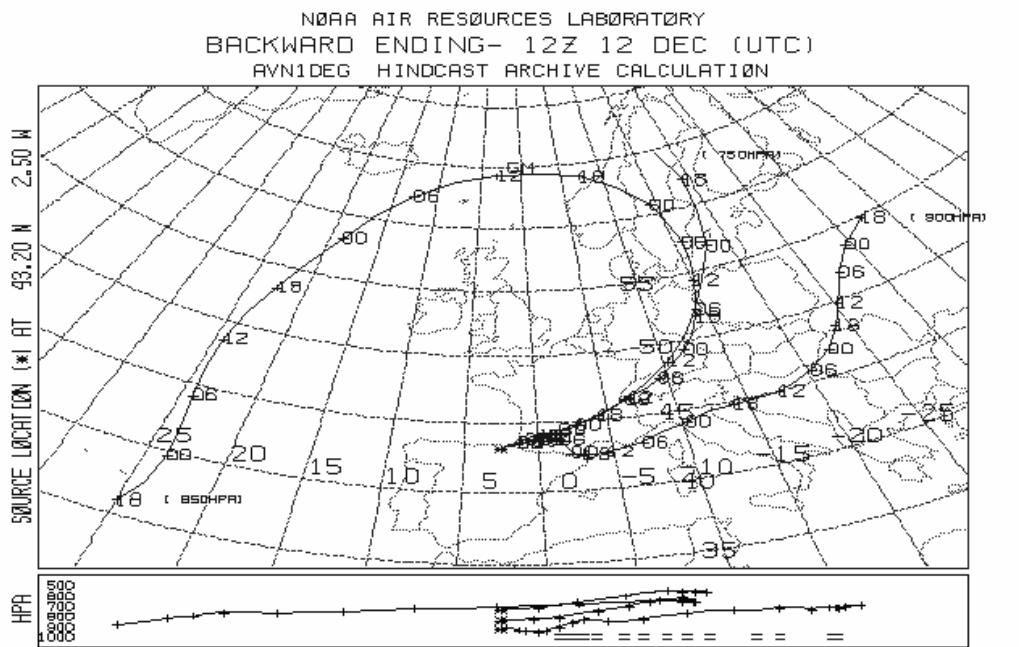


Figura IV.24. (ver página siguiente) Episodio de contaminación antropogénica de origen europeo registrado en el País Vasco entre el 10 y el 22 de Diciembre de 2002.

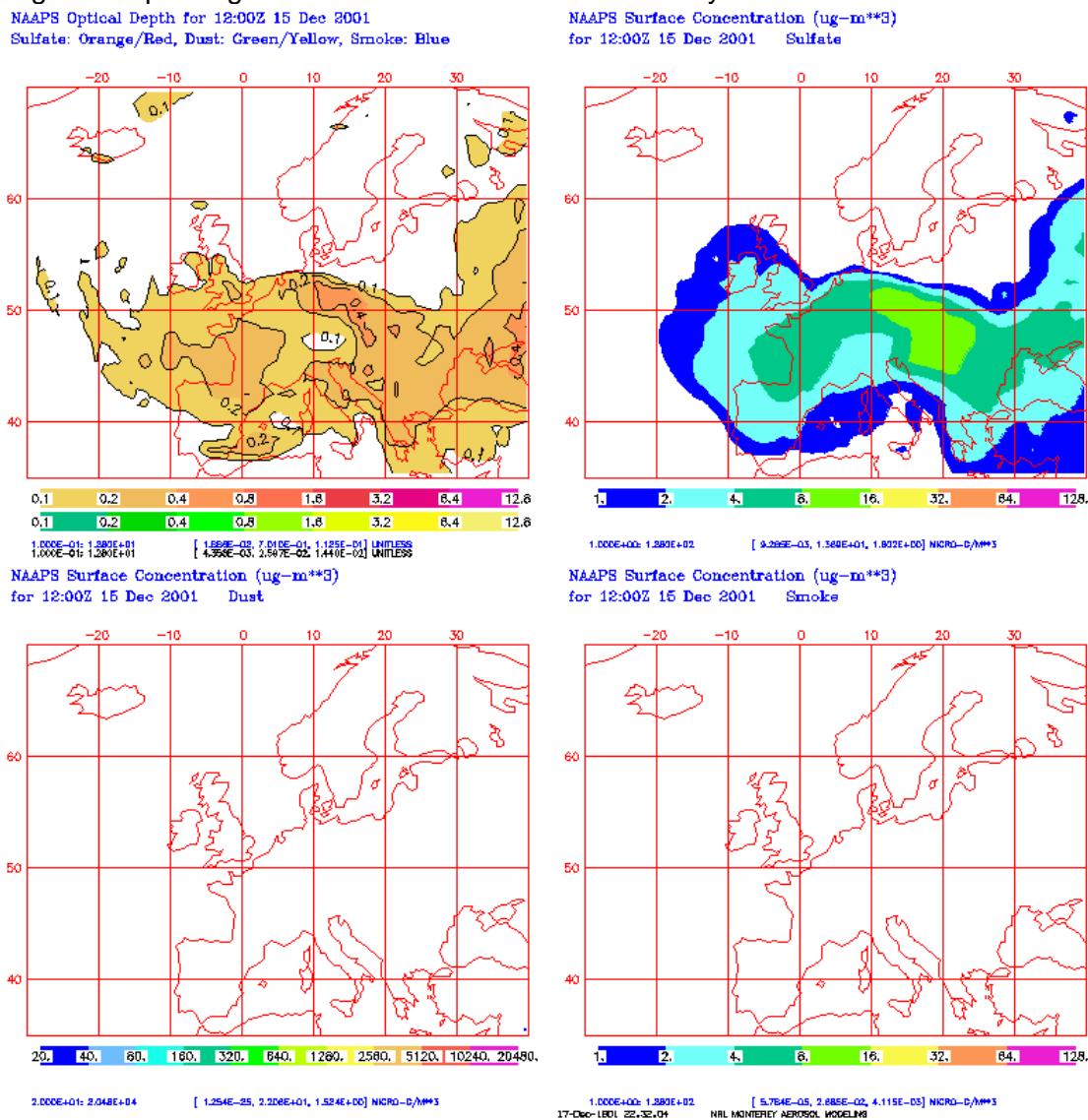
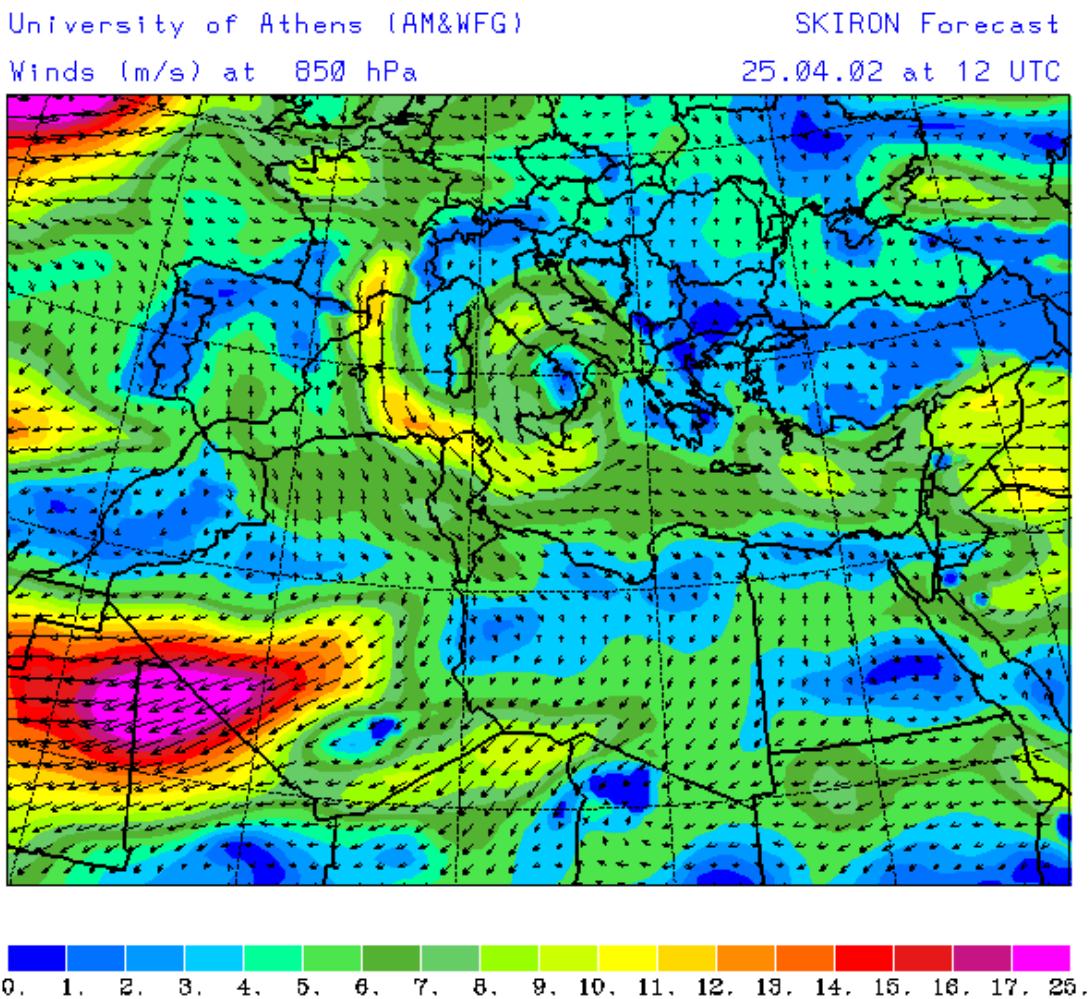


Figura IV.24. Episodio de contaminación antropogénica de origen europeo registrado en el País Vasco entre el 10 y el 22 de Diciembre de 2002.

4. Episodios con bajos niveles de partículas por paso de frentes/precipitación

En el País Vasco, sobre todo en invierno, se dan escenarios meteorológicos que mediante el sucesivo paso de frentes y borrascas son idóneos para una buena ventilación del material particulado atmosférico. Además, la curvatura cóncava del Golfo de Vizcaya favorece la ciclogénesis, de tal forma que hay borrascas que se forman en ella y, si llegan formadas, incluso se refuerzan en ella. Estas borrascas y frentes impiden la acumulación de partículas en suspensión (debido a la deposición húmeda y a la entrada de aire oceánico limpio).



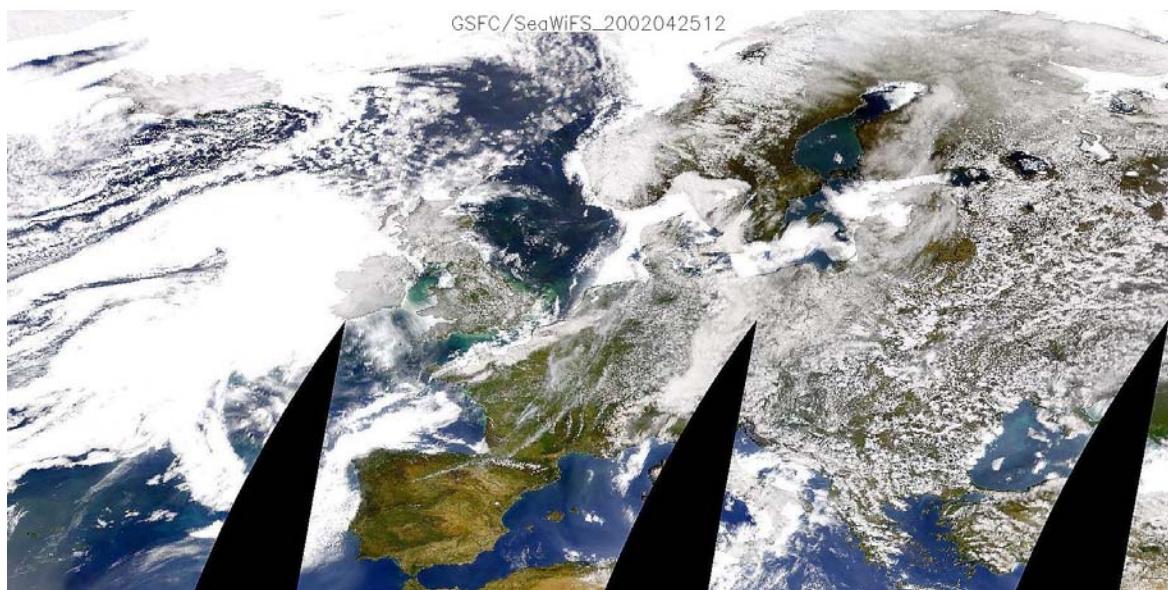


Figura IV.25. (ver página siguiente). Episodio por paso de fuentes en Abril. A partir del 26 de Abril se registra en el País Vasco un episodio con bajos niveles de contaminación debido a la llegada de un frente tal y como muestran el Skiron, la fotografía del Seawifs y las retrotrayectorias que viran de Europa (día 25) a Atlántico Noroeste (día 26).

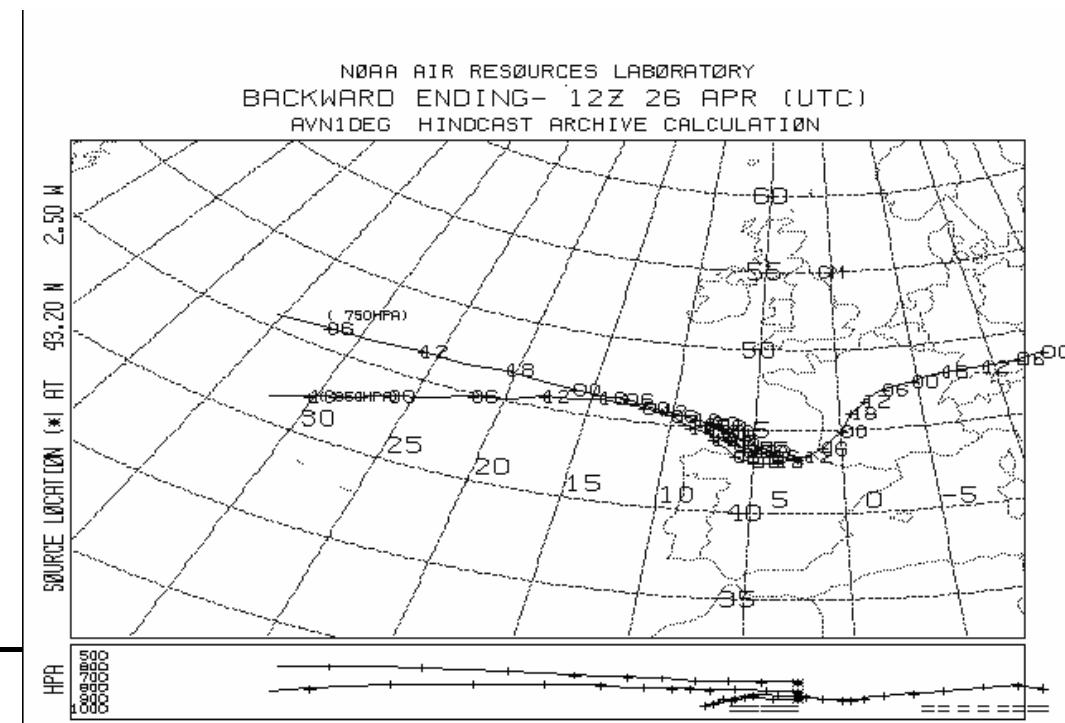
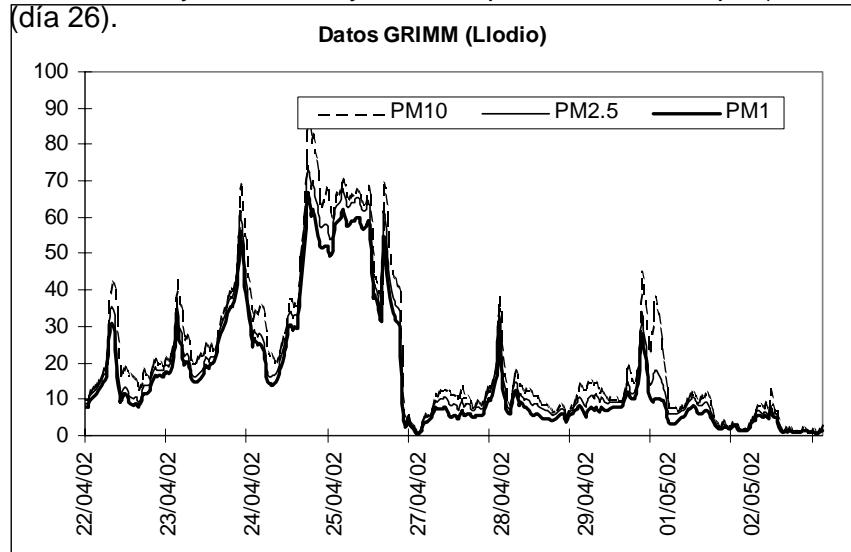


Figura IV.25. Episodio por paso de fuentes en Abril. A partir del 26 de Abril se registra en el País Vasco un episodio con bajos niveles de contaminación debido a la llegada de un frente tal y como muestran el Skiron, la fotografía del Seawifs y las retrotrayectorias que viran de Europa (día 25) a Atlántico Noroeste (día 26).

Hay numerosos ejemplos de este tipo a lo largo de todo el periodo de estudio. Uno de ellos es el que tuvo lugar el viernes 26 de Abril de 2002. Tras un periodo con niveles altos de partículas con retrotrayectorias de origen europeo se produjo la entrada de un frente que llevaba asociados vientos del Noroeste. En consecuencia, y tal como refleja el diagrama obtenido mediante el láser GRIMM en la estación de Llodio, los niveles registrados bajaron bruscamente (**Figura IV.25**). La fotografía del Seawifs para el día 25 muestra claramente un frente acercándose por el Noroeste. Como resultado, el día 26 se produjo un cambio en las retrotrayectorias que viraron al Noroeste y se produjo la limpieza de la atmósfera.

VI. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOS FILTROS ESTUDIADOS

Durante el periodo de estudio se había previsto recoger un total de 90 filtros de PM10 y 45 de PM2.5 correspondientes al mismo número de días distribuidos de manera sistemática a lo largo de los meses de Diciembre de 2001 a Diciembre de 2002. Sin embargo, diversos problemas técnicos durante el muestreo (cortes de corriente, deterioro de filtros, etc.) han reducido el número de filtros recogidos a 75 de PM10 y 43 de PM2.5. Para la caracterización química del PMA se han analizado los filtros correspondientes a los días para los cuales existe muestreo simultáneo de PM10 y PM2.5. De estos, se han obtenido resultados analíticos aceptables para 46 filtros de PM10 y 35 de PM2.5. Se trata de un número de muestras suficiente como para poder efectuar un análisis estadístico fiable y establecer una primera aproximación sobre la contribución de las posibles fuentes al contenido y composición química del material particulado atmosférico muestreado en el entorno de la estación de Abanto.

A continuación se presentan en las **Tablas VI.1a. a VI.1f.** (para PM10) y **VI.2a. a VI.2f.** (para PM2.5) los resultados para el conjunto de elementos analizados. Las unidades son en ng/m^3 , excepto para los valores de PM y volumen, para los cuales las unidades aparecen entre paréntesis. Los resultados por debajo de los límites de detección se han dejado en blanco en las Tablas.

VI.a. Metodología

Para la caracterización química de las partículas en suspensión se han analizado los siguientes elementos sobre los cuales existe una normativa o valores límite recomendados: Pb, Ni, As, Cd (Real Decreto 1073/2002 para el Pb y Directiva 2004/107/CE para Ni, As y Cd).

Además, se han analizado otros elementos considerados de interés que podemos clasificar en varios grupos: crustal, marino, secundario, etc. (cf. Capítulo VII), incluyendo metales pesados y otros contaminantes así como los elementos del grupo de los lantánidos.

Una vez obtenida la muestra, el filtro es tratado y analizado en una sala presurizada con aire filtrado y climatizada. Los filtros son digeridos en medio ácido (2.5 ml HNO_3 : 5 ml HF : 2.5 ml HClO_4) a 90 °C y 75 psi en bombas de 60 ml Teflon PFA de Savillex. Este método permite la retención en la solución de elementos volátiles para su posterior análisis. La digestión es enrasada a 50 ml en medio ácido (5 % HNO_3) y en ella se determinan los elementos de interés. Las soluciones resultantes de la digestión ácida de los filtros se analizaron mediante espectrometría de masas con fuente de plasma (ICP-MS) utilizando un espectrómetro Thermo X7. Blancos de filtros y patrones de referencia certificados (NBS1633b) se analizaron siguiendo las mismas pautas

para asegurar la calidad de los resultados analíticos y la trazabilidad a patrones internacionales.

VI.b. Contenido de las fichas

Los resultados de los análisis de los filtros para los elementos más relevantes de entre los analizados, una vez restado el correspondiente blanco, se incluyen en un Anexo al final del informe en forma de una serie de fichas numeradas.

Para cada filtro, la ficha incluye los siguientes datos:

- Fecha y hora del muestreo.
- Datos gravimétricos.
- Datos meteorológicos.
- Datos de contaminantes atmosféricos.
- Datos de composición química del material particulado.
- Datos sobre dispersión de contaminantes.
- Retrotrayectorias.
- Observaciones si las hubiere.

Las rosas de los vientos incluidas en las fichas permiten apreciar para cada filtro el origen del material particulado (PM10) en función de la dirección del viento, proporcionando una rápida información gráfica acerca de dónde podría situarse el foco de contaminación con respecto al punto de muestreo.

Además de los filtros del muestreo, se han analizado filtros en blanco. Los datos de los análisis químicos para los filtros en blanco se incluyen al final de las fichas correspondientes a los filtros, indicándose a qué filtros corresponde cada blanco analizado.

Tabla VI.1a. Datos de composición química (ng/m³) de los filtros PM10 analizados.

Muestra	Fecha	Volumen (m ³)	PM10 (μg/m ³)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Al	Na	Mg
S859	10-12-01	731	33,4	4452,43	1484,14	785,45	3514,50	418,47
S846	11-12-01	730	98,6	9205,75	3068,58	1623,98	1022,70	729,94
S857	19-12-01	731	39,2	3413,69	1137,90	602,21	549,33	368,51
S856	20-12-01	731	48,2	2702,92	900,97	476,82	2682,74	263,58
S849	26-12-01	715	11,3	1351,57	450,52	238,43	3473,47	211,80
S855	03-01-02	731	16,8	2101,62	700,54	370,74	947,91	121,62
PV-1	19-01-02	730	39,5	1566,11	522,04	276,28	9122,62	483,91
PV-5	04-02-02	691	8,1	1373,54	457,85	242,30	1865,26	164,78
PV-8	12-02-02	731	56,8	7427,06	2475,69	1310,20	1656,15	506,11
PV-9	13-02-02	731	51,3	8541,62	2847,21	1506,82	6712,89	721,07
PV-11	20-02-02	728	31,1	1324,76	441,59	233,70	12001,83	619,55
PV-13	28-02-02	731	32,4	2251,26	750,42	397,14	4027,46	387,42
PV-17	08-03-02	732	27,5	1078,36	359,45	190,23	4255,11	218,24
PV-22	25-03-02	681	35,5	2508,87	836,29	442,59	2363,38	275,72
PV-25	26-03-02	730	48,7	2628,93	876,31	463,77	976,59	249,70
PV-26	28-03-02	730	39,4	6616,66	2205,55	1167,24	1647,89	283,46
PV-29	09-04-02	726	39,5	1410,54	470,18	248,83	4195,98	244,00
PV-33	17-04-02	731	40,2	2894,86	964,95	510,68	3860,12	370,65
PV37	25-04-02	731	63,5	2899,50	966,50	511,50	3340,07	270,82
PV-38	26-04-02	731	76,0	1743,08	581,03	307,49	3883,42	207,70
PV-41	11-05-02	730	24,4	942,80	314,27	166,32	2701,34	156,77
PV-44	19-05-02	730	38,1	2743,43	914,48	483,97	1861,30	279,88
PV-47	27-05-02	730	24,0	1086,43	362,14	191,66	5983,99	292,78
PV-54	13-06-02	730	68,6	2234,68	744,89	394,22	2751,82	241,42
PV-55	20-06-02	724	36,3	568,43	189,48	100,28	5535,85	280,88
PV-57	21-06-02	730	49,1	1587,11	529,04	279,98		252,13
PV-59	28-06-02	731	23,9	750,44	250,15	132,38	2206,80	238,61
PV-79	14-07-02	705	8,4	213,17	71,06	37,60	876,71	122,76
PV-83	22-07-02	677	25,5	676,98	225,66	119,42	3692,90	246,69
PV-88	07-08-02	728	16,8	474,63	158,21	83,73	1078,29	80,05
PV-91	15-08-02	731	26,8	638,69	212,90	112,67	2922,19	200,55
PV-64	21-08-02	723	19,4	685,28	228,43	120,89	966,66	142,64
PV-67	31-08-02	730	11,6	449,01	149,67	79,21	645,54	89,97
PV-69	09-09-02	729	46,5	2865,79	955,26	505,55		221,30
PV-71	10-09-02	731	55,5	2891,89	963,96	510,16		321,37
PV-72	16-09-02	653	48,5	2164,41	721,47	381,82		219,58
PV-102	11-10-02	731	46,8	2230,43	743,48	393,47	10539,80	548,21
PV-92	14-10-02	731	37,0	2801,95	933,98	494,29	3709,96	284,75
PV-95	18-10-02	731	44,9	6327,17	2109,06	1116,17	4097,06	360,28
PV-97	23-10-02	732	31,3	3598,95	1199,65	634,89	5709,62	315,87
PV-103	30-10-02	731	17,4	3103,36	1034,45	547,46	2449,65	151,82
PV-104	31-10-02	731	34,7	1821,37	607,12	321,31	2594,15	208,47
PV-105	03-11-02	716	22,7	2280,43	760,14	402,29	11522,44	472,34
PV-107	11-11-02	664	51,5	6945,04	2315,01	1225,17	8270,58	597,38
PV-112	20-11-02	731	14,6	1986,20	662,07	350,38	852,47	652,87
PV-115	26-11-02	731		3226,87	1075,62	569,25	5182,72	259,74

Tabla VI.1b. Datos de composición química (ng/m³) de los filtros PM10 analizados.

Muestra	CO3	Ca	K	Ti	Mn	Fe	SO4-2	S
S859	3941,10	1929,95	240,79	31,71	40,87	880,93	1241,41	414,41
S846	12019,65	6796,53	983,12	80,32	290,31	4260,87	3322,53	1109,13
S857	3604,66	1788,92	395,68	25,88	207,07	1660,79	2265,16	756,15
S856	2539,78	1253,88	388,99	24,60	120,15	1583,30	2826,02	943,38
S849	1074,83	363,56	66,23	9,93	6,86	114,52	387,45	129,34
S855	1302,92	665,92	107,84	18,49	46,16	569,56	703,36	234,79
PV-1	2966,35	1171,05	365,30	20,00	85,23	760,85	2042,26	681,75
PV-5	1885,78	982,55	86,25	13,72	9,54	183,02	366,48	122,34
PV-8	6997,87	3821,73	512,76	80,85	193,98	2652,45	1701,88	568,12
PV-9	4261,40	1639,14	451,33	80,50	36,07	1053,54	1366,41	456,13
PV-11	2759,85	807,32	166,83	11,54	10,56	129,79	1292,32	431,40
PV-13	3663,17	1796,42	193,74	26,43	48,48	889,79	923,74	308,36
PV-17	1590,63	696,70	118,80	10,54	9,95	274,34	1307,66	436,52
PV-22	3286,69	1731,59	241,41	28,77	114,09	957,15	1979,97	660,95
PV-25	3906,98	2188,48	302,02	35,40	161,96	1538,74	1896,39	633,05
PV-26	4466,28	2505,08	365,83	50,24	38,69	1122,39	1591,44	531,25
PV-29	1638,50	685,67	194,39	19,37	16,41	267,41	1365,69	455,89
PV-33	3924,12	1998,33	247,32	32,94	103,00	1556,12	1371,06	457,69
PV37	2858,57	1454,34	347,58	28,41	59,95	930,68	6768,97	2259,61
PV-38	1778,43	839,46	185,18	18,43	16,07	277,48	3160,15	1054,92
PV-41	1214,79	548,57	107,90	11,70	30,39	324,80	1504,19	502,13
PV-44	3045,85	1564,10	219,89	30,09	114,58	1294,03	1366,09	456,03
PV-47	1864,74	755,20	135,28	12,74	23,63	383,65	1008,40	336,62
PV-54	2820,65	1478,07	346,01	25,87	76,67	1108,27	6300,34	2103,17
PV-55	1660,78	639,05	126,24	9,69	14,80	253,63	1104,78	368,80
PV-57	2685,53	1370,14	290,08	23,29	77,24	1074,49	2105,41	702,82
PV-59	1520,31	615,86	101,54	11,17	5,13	187,54	687,71	229,57
PV-79	737,69	287,19	14,98	13,79	10,35	121,67	352,47	117,66
PV-83	1676,29	706,38	120,04	11,88	17,83	212,98	962,30	321,23
PV-88	1159,22	639,39	72,04	6,98	6,79	150,84	1058,92	353,49
PV-91	1370,02	579,09	101,88	10,33	14,64	244,84	1455,03	485,72
PV-64	1548,32	794,48	78,23	10,69	11,58	258,10	487,10	162,60
PV-67	770,15	363,49	42,80	5,44	2,93	99,01	521,29	174,02
PV-69	3717,06	2109,21	295,58	35,75	85,26	1473,32	1591,48	531,27
PV-71	4696,01	2595,06	357,85	39,31	113,18	1925,71	1610,22	537,52
PV-72	3306,03	1838,06	313,42	28,04	89,19	1051,36	1345,62	449,19
PV-102	5988,73	3078,80	350,13	23,17	45,47	566,10	2303,70	769,02
PV-92	4713,86	2667,99	268,93	32,81	38,84	873,21	743,00	248,03
PV-95	5937,56	3357,90	483,41	48,00	81,99	1785,31	1592,69	531,67
PV-97	3143,33	1569,10	337,21	22,15	63,68	765,76	1440,16	480,75
PV-103	1748,28	912,49	284,91	18,16	20,71	340,87	539,98	180,25
PV-104	3076,85	1703,78	190,97	21,86	48,17	749,14	1174,81	392,17
PV-105	1818,10	424,84	308,82	8,84	9,41	112,70	977,15	326,19
PV-107	6950,68	3638,15	620,80	59,17	80,51	1523,65	1575,77	526,02
PV-112	3828,21	1464,02	112,12	31,72	21,36	556,58	368,81	123,12
PV-115	2924,14	1516,53	322,67	20,25	40,16	730,51	891,74	297,68

Tabla VI.1c. Datos de composición química (ng/m³) de los filtros PM10 analizados.

Muestra	Sr	Ba	Pb	V	Cr	Ni	Zn	Cu	P
S859	6,41	11,94	62,14	7,18	6,95	6,21	258,50	34,21	29,893
S846	16,80	46,04	1561,08	37,61	53,70	29,41	4263,63	119,25	46,720
S857	6,32	16,91	480,60	13,96	16,09	8,55	1552,15	77,46	47,253
S856	4,73	21,26	343,30	28,01	21,14	18,63	1588,70	71,20	36,721
S849	2,41	4,51	5,68	4,34		2,33	29,46	23,53	12,062
S855	3,07	9,72	81,60	8,70	7,56	6,97	384,76	45,06	25,757
PV-1	4,69	10,62	326,85	14,96	8,09	8,36	1455,10	64,06	38,553
PV-5	2,76	4,15	6,43	0,89	0,55	1,93	34,05	16,44	13,762
PV-8	11,14	27,17	111,72	23,30	49,89	24,93	950,05	82,82	229,862
PV-9	8,00	16,37	23,36	14,61	7,20	11,23	171,35	16,70	48,740
PV-11	4,13	2,56	4,76	27,96	1,33	21,84	68,33	13,12	7,094
PV-13	5,84	13,83	87,68	8,45	12,43	7,78	378,47	49,78	
PV-17	2,68	5,37	13,29	13,25	3,09	8,35	85,78	40,54	
PV-22	5,68	12,90	198,68	29,75	12,24	16,42	713,15	63,75	79,238
PV-25	5,82	17,72	307,62	28,77	30,14	20,62	1247,77	65,11	335,956
PV-26	9,44	9,38	22,45	4,63	4,85	2,18	110,85	11,78	168,664
PV-29	2,68	4,00	16,41	7,06	3,51	4,28	185,71	26,35	17,294
PV-33	5,92	18,59	191,47	14,93	28,50	14,55	908,95	52,92	36,847
PV37	5,50	11,61	68,86	16,55	9,63	14,68	427,65	39,39	61,293
PV-38	3,51	6,39	10,97	15,95	3,91	10,49	107,19	16,88	45,807
PV-41	2,48	5,16	85,19	19,21	4,83	8,44	246,33	52,48	27,829
PV-44	5,45	11,90	210,70	5,69	14,89	3,66	923,94		8,508
PV-47	3,64	4,61	21,26	5,06	6,12	5,37	116,60	15,91	6,949
PV-54	6,32	14,27	208,42	35,16	18,57	21,27	1193,86	51,68	28,547
PV-55	2,37	2,93	15,63	8,73	3,14	5,53	249,85	26,67	106,104
PV-57	8,42	22,57	194,49	24,05	19,74	22,08	896,02	45,60	171,985
PV-59	2,51	4,09	7,91	3,65	4,65	2,87	35,93	17,35	68,152
PV-79	1,38		2,78	1,74	3,54	1,96	19,77	14,71	24,713
PV-83	2,31	3,10	14,56	7,28	6,24	3,22	100,49	18,34	39,901
PV-88	1,50	1,40	5,34	4,71	5,21	1,59	22,58	23,19	28,218
PV-91	2,06	0,97	55,29	5,33	4,45	2,27	189,78	31,99	35,148
PV-64	2,13	3,10	11,61	4,31	4,68	2,30	61,16	16,84	61,801
PV-67	1,04	2,16	3,38	6,37	4,30	3,41	55,84	33,67	69,619
PV-69	7,74	21,98	336,02	16,05	29,10	29,65	1184,35	72,93	241,182
PV-71	6,47	22,62	533,39	8,31	29,73	21,33	2132,52	67,50	258,170
PV-72	4,87	11,44	236,19	20,87	12,36	19,24	1136,35	43,84	166,496
PV-102	8,18	7,60	59,98	21,00	6,95	26,15	633,58	32,62	40,045
PV-92	7,54	11,61	90,51	11,37	13,70	5,99	502,05	37,70	46,242
PV-95	11,98	304,14	111,46	17,22	31,32	18,42	1028,66	79,27	89,074
PV-97	7,77	394,08	161,04	44,30	9,41	17,85	890,62	37,95	41,958
PV-103	6,02	304,28	24,95	9,70	2,95	3,68	397,03	28,65	29,785
PV-104	5,04	8,24	182,84	15,11	8,38	6,49	720,02	37,77	42,945
PV-105	5,87	278,18	4,37	21,46	2,34	6,81	301,29	11,61	12,895
PV-107	14,07	379,74	142,71	17,87	21,46	16,16	1076,03	71,35	50,730
PV-112	3,77	6,69	12,78	3,92	35,36	34,52	98,22	22,99	16,628
PV-115	6,34	207,05	30,38	3,48	8,13	4,31	595,97	27,23	20,185

Tabla VI.1d. Datos de composición química (ng/m³) de los filtros PM10 analizados.

Muestra	Sc	V	Cr	Co	Cu	As	Rb	Y	Zr	Nb
S859	0,583	7,840	6,501	2,610	35,296	1,038	0,965	0,091	4,719	0,388
S846	0,184	31,416	38,204	1,959	91,222	6,855	3,742	0,184	3,924	0,461
S857	0,062	13,521	12,997	0,926	72,237	4,285	1,611	0,105	3,130	0,252
S856	0,050	26,161	17,654	1,918	62,955	4,356	1,468	0,016	3,132	0,241
S849	0,022	4,368		0,224	24,311	0,316	0,171			0,147
S855	0,304	9,319	7,276	0,349	43,587	1,518	0,503	0,015	4,020	0,202
PV-1	0,038	15,712	7,727	0,723	65,303	2,026	1,054	0,089	9,146	0,142
PV-5	0,251	0,846	0,077	0,138	16,536	0,242	0,314	0,081	10,256	0,110
PV-8	0,260	17,175	32,456	1,067	48,649	3,644	2,134	0,607	7,188	0,437
PV-9	0,267	11,706	5,121	2,091	15,970	0,156	1,663	0,352	9,111	0,363
PV-11	0,024	22,434	1,138	2,565	12,587		0,242		4,762	0,040
PV-13	0,066	9,902	8,684	0,588	33,664	1,057	0,839	0,054	0,237	0,137
PV-17	0,028	12,455	3,150	0,934	44,124	0,317	0,382	0,111	0,608	0,060
PV-22	0,068	26,922	12,198	0,905	48,001	2,379	1,129	0,277	3,063	0,178
PV-25	0,086	24,203	22,207	0,861	45,342	3,991	1,391	0,072	10,868	0,183
PV-26	0,192	5,227	4,060	0,370	10,528	0,676	2,152	0,189	10,740	0,241
PV-29	0,061	8,264	3,787	1,425	30,941	0,753	0,678	0,050		0,126
PV-33	0,144	27,581	51,582	0,761	98,787	2,228	1,291	0,304	5,986	0,231
PV37	0,214	38,697	20,000	0,635	59,902	2,049	2,030	0,559	16,969	0,268
PV-38	0,182	35,811	6,122	0,920	24,033	0,501	0,895	0,500	15,505	0,141
PV-41		29,668	4,147	0,280	77,285	0,984	0,358			0,004
PV-44	0,013	3,288	8,622	0,225	28,162	1,061	0,414	0,133		0,022
PV-47		5,155	8,989	0,455	20,589	0,256	0,203	0,622	2,733	0,085
PV-54	0,012	65,546	35,901	3,314	66,740	2,698	1,369	0,573	11,468	0,228
PV-55		9,604	3,126	1,848	34,544	0,362	0,277	0,005	5,312	0,089
PV-57		25,299	20,121	2,808	58,630	1,402	0,668	0,205	16,290	0,188
PV-59		3,875	4,707	0,177	23,311	0,457	0,184	0,118	8,048	0,083
PV-79	0,009	1,442	4,068	0,198	23,121		0,073	0,094	13,451	0,065
PV-83	0,018	7,621	5,954	0,503	22,127	0,069	0,181	0,089	10,448	0,074
PV-88	0,020	4,943	5,021	0,161	27,486	0,932	0,141	0,090	12,655	0,059
PV-91	0,009	5,418	3,818	0,486	37,415	1,145	0,188		10,893	0,076
PV-64	0,022	4,452	4,949	0,203	21,632	0,288	0,191		7,820	0,083
PV-67	0,001	6,791	4,907	0,735	45,096	0,164	0,069	0,236	7,373	0,055
PV-69	0,083	16,773	29,578	0,530	92,867	3,569	0,955	0,254	13,514	0,228
PV-71	0,057	8,542	29,059	0,721	83,447	3,230	1,091	0,210	5,636	0,188
PV-72	0,063	22,906	13,081	0,493	60,429	1,953	0,871	0,232	16,221	0,193
PV-102	0,019	22,080	5,529	6,782	39,603	0,796	0,452		1,286	0,105
PV-92	0,032	11,467	11,477	0,322	43,434	0,968	0,620		0,821	0,146
PV-95	0,096	17,853	28,837	0,704	89,494	6,480	0,981	0,377		0,115
PV-97	0,011	44,796	7,358	0,291	43,511	1,740	0,500			0,085
PV-103	0,202	10,485	1,971	0,172	37,250	0,606	0,369	0,072	6,005	0,121
PV-104	0,083	15,869	6,892	0,296	46,430	1,231	0,463		0,369	0,082
PV-105	0,055	23,003	1,358	0,135	15,838	0,206	0,122		4,106	0,052
PV-107	0,146	17,601	19,024	2,979	55,256	1,793	1,640	0,396	13,652	0,352
PV-112	0,128	3,987	34,025	0,976	19,029	0,537	0,590	0,106	8,748	0,183
PV-115	0,060	3,384	6,902	2,330	21,135	1,284	0,678	0,173	10,335	0,179

Tabla VI.1e. Datos de composición química (ng/m³) de los filtros PM10 analizados.

Muestra	Mo	Cd	Sn	Sb	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm
S859	8,621	0,882	3,958	1,545	0,085	0,289	0,607	0,063	0,238	0,037
S846	23,487	12,590	17,558	6,534	0,309	0,663	1,388	0,134	0,496	0,071
S857	10,718	4,790	10,627	5,956	0,133	0,240	0,517	0,048	0,170	0,025
S856	9,138	4,983	11,929	4,249	0,116	0,299	0,594	0,051	0,137	0,020
S849	0,803	0,154	1,765	0,416	0,013	0,103	0,144	0,015	0,028	
S855	7,517	1,301	6,600	1,529	0,039	0,177	0,331	0,034	0,105	0,012
PV-1	7,012	7,110	12,515	2,728	0,085	0,538	0,405	0,075	0,141	0,032
PV-5	6,506	0,868	2,942	0,442	0,025	0,139	0,284	0,033	0,120	0,030
PV-8	25,341	1,596	28,029	4,376	0,177	0,689	1,455	0,142	0,540	0,087
PV-9	2,533	0,387	2,686	0,790	0,109	1,082	1,664	0,193	0,647	0,107
PV-11	2,730	0,202	0,926	0,212	0,008	2,274	0,439	0,223	0,096	0,001
PV-13	4,253	2,540	6,085	2,375	0,083	0,233	0,429	0,081	0,149	0,021
PV-17	6,416	0,345	1,289	0,721	0,013	0,299	0,288	0,043	0,106	0,025
PV-22	13,215	2,233	6,480	1,815	0,085	1,131	0,773	0,145	0,287	0,056
PV-25	10,737	3,108	7,032	1,799	0,105	0,757	0,615	0,098	0,211	0,027
PV-26		0,343	4,056	0,723	0,184	0,585	1,267	0,127	0,499	0,075
PV-29	1,833	0,566	3,455	1,181	0,082	0,286	0,364	0,048		0,034
PV-33	14,365	2,842	12,102	2,497	0,115	0,616	0,803	0,105	0,037	0,086
PV37	27,592	1,902	8,562	2,503	0,205	0,855	1,231	0,136	0,310	0,122
PV-38	23,694	0,563	2,190	0,939	0,087	1,185	0,873	0,143	0,225	0,091
PV-41	2,973	0,896	5,396	1,535	0,036	0,815	0,214	0,067	0,025	
PV-44	9,781	1,472	3,275	0,833	0,040	0,155	0,271	0,030	0,065	0,024
PV-47		0,282	0,966	0,256	0,016	0,330	0,613	0,075	0,136	0,061
PV-54		3,518	9,705	3,811	0,121	1,730	1,084	0,209	0,207	0,063
PV-55		0,632	0,874	0,825	0,019	0,159	0,124	0,019	0,029	0,003
PV-57	13,973	3,458	10,774	4,284	0,054	0,490	0,467	0,052	0,089	0,030
PV-59	5,882	0,164	1,518	0,739	0,015	0,166	0,237	0,024	0,065	0,028
PV-79	1,773	0,096	1,851	0,264	0,003	0,062	0,160	0,010	0,025	0,006
PV-83		0,476	2,882	0,708	0,013	0,099	0,137	0,010	0,012	
PV-88		0,101	1,110	0,122	0,015	0,133	0,110	0,012	0,011	
PV-91		2,192	3,224	0,571	0,016	0,086	0,044	0,006		
PV-64		1,654	1,990	0,500	0,015	0,080	0,094	0,010	0,021	
PV-67	5,589	0,243	0,993	0,432	0,008	0,153	0,141	0,020	0,045	0,024
PV-69	49,150	3,457	16,914	3,345	0,108	0,280	0,736	0,049	0,134	0,036
PV-71	14,309	7,147	17,332	2,602	0,098	0,221	0,591	0,038	0,103	0,021
PV-72	6,907	3,274	21,440	2,531	0,079	0,343	0,536	0,043	0,142	0,028
PV-102	5,937	1,093	0,531	1,427	0,032	1,863	0,506	0,091	0,075	0,015
PV-92	2,982	1,296	10,146	2,034	0,061	0,223	0,473	0,034	0,084	0,021
PV-95	15,609	1,490	16,460	2,920	0,091	0,462	1,351	0,065	0,173	0,053
PV-97	2,568	1,880	10,631	1,591	0,054	2,238	0,507	0,106	0,070	0,008
PV-103	2,996	0,239	3,025	0,621	0,038	0,256	0,367	0,032	0,063	0,018
PV-104	7,469	1,846	9,491	1,938	0,040	0,435	0,406	0,037	0,059	0,012
PV-105		0,127	0,774	0,407	0,016	0,973	0,207	0,051	0,023	
PV-107	12,756	2,246	10,122	4,508	0,139	0,588	0,970	0,104	0,225	0,061
PV-112	8,399	0,345	1,580	0,880	0,043	0,179	0,356	0,038	0,091	0,027
PV-115	5,732	0,892	7,137	0,835	0,044	0,166	0,307	0,030	0,066	0,012

Tabla VI.1f. Datos de composición química (ng/m³) de los filtros PM10 analizados.

Muestra	Eu	Gd	Tb	Dy	Er	Yb	Lu	Hf	W	Bi	U
S859	0,012	0,036	0,006	0,020	0,020	0,019	0,008	0,204	7,507	0,951	0,024
S846	0,027	0,065	0,008	0,034	0,034	0,034	0,010	0,150	5,455	4,614	0,031
S857	0,011	0,030	0,006	0,018	0,020	0,020	0,008	0,163	2,063	1,612	0,065
S856	0,012	0,023	0,003	0,007	0,014	0,014	0,008	0,169	1,934	1,318	0,014
S849	0,002				0,002	0,002	0,006	0,006	0,335	0,151	
S855	0,006	0,014	0,003	0,001	0,011	0,010	0,007	0,182	0,755	0,795	0,001
PV-1	0,012	0,054	0,009	0,030	0,017	0,017	0,008	0,371	0,303	1,747	0,070
PV-5	0,010	0,039	0,009	0,028	0,016	0,014	0,007	0,405		0,358	0,057
PV-8	0,030	0,092	0,011	0,070	0,059	0,085	0,016	0,345	0,812	0,803	0,412
PV-9	0,030	0,117	0,013	0,066	0,044	0,045	0,007	0,348	0,118	0,279	0,096
PV-11	0,001	0,079				0,002	0,001	0,139	0,006	0,077	0,019
PV-13	0,009	0,024	0,002	0,009	0,009	0,009	0,002		1,160	0,501	
PV-17	0,007	0,034	0,005	0,026	0,011	0,008	0,002	0,025	0,418	0,283	0,043
PV-22	0,017	0,094	0,011	0,061	0,028	0,023	0,003	0,129	0,724	0,546	0,109
PV-25	0,013	0,044	0,003	0,016	0,012	0,011	0,002	0,437	0,748	1,046	0,016
PV-26	0,019	0,065	0,008	0,040	0,026	0,022	0,004	0,432	0,328	0,211	0,003
PV-29	0,010	0,041	0,010	0,025	0,017	0,017	0,009		0,223	0,165	
PV-33	0,024	0,106	0,017	0,084	0,040	0,036	0,011	0,159	0,684	0,543	0,102
PV37	0,029	0,153	0,021	0,130	0,055	0,049	0,006	0,622	0,740	0,613	0,280
PV-38	0,022	0,147	0,018	0,113	0,045	0,039	0,005	0,593	0,345	0,363	0,259
PV-41		0,018							0,247	0,412	
PV-44	0,007	0,034	0,005	0,033	0,014	0,013	0,001		0,231	1,354	0,122
PV-47	0,025	0,079	0,026	0,084	0,039	0,026	0,006	0,099	0,147	0,169	0,348
PV-54	0,028	0,114	0,024	0,072	0,040	0,029	0,006	0,424	1,385	1,013	0,310
PV-55	0,001	0,007			0,001	0,002	0,000	0,112	0,194	0,097	
PV-57	0,008	0,049	0,004	0,031	0,013	0,015	0,002	0,434	0,338	0,735	0,049
PV-59	0,005	0,040	0,005	0,036	0,012	0,011	0,001	0,190	0,093	0,081	0,054
PV-79	0,001	0,008	0,002	0,029	0,016	0,001	0,000	0,333	0,051	0,073	0,008
PV-83								0,270	0,085	0,078	
PV-88									0,358	0,046	0,046
PV-91									0,306	0,041	0,195
PV-64	0,001							0,210	0,074	0,114	
PV-67	0,004	0,037	0,004	0,034	0,011	0,010	0,001	0,190	0,044	0,122	0,059
PV-69	0,008	0,036	0,003	0,026	0,015	0,018	0,002	0,353	1,591	0,944	0,040
PV-71	0,006	0,018	0,001	0,008	0,009	0,013	0,002	0,088	1,692	1,086	0,012
PV-72	0,006	0,030	0,002	0,016	0,009	0,009	0,001	0,424	1,012	2,342	0,012
PV-102		0,053	0,001	0,003				0,082	0,238	0,240	0,029
PV-92		0,020	0,001	0,005				0,076	0,310	0,326	0,017
PV-95		0,057	0,005	0,038	0,018	0,026	0,003		1,568	0,611	0,068
PV-97	0,001	0,055			0,001	0,002	0,000		0,180	0,643	
PV-103		0,027	0,002	0,013	0,006	0,007	0,001	0,140	0,099	0,360	0,015
PV-104		0,019	0,001						0,173	1,010	0,024
PV-105		0,022						0,099	0,080	0,391	
PV-107	0,066	0,070	0,008	0,051	0,036	0,036	0,006	0,461	0,692	1,027	0,049
PV-112	0,007	0,029	0,004	0,021	0,011	0,008	0,001	0,347	0,144	0,395	0,029
PV-115	0,031	0,015	0,001	0,011	0,016	0,017	0,003	0,351	3,122	0,574	

Tabla VI.2a. Datos de composición química (ng/m³) de los filtros PM2.5 analizados.

Muestra	Fecha	Volúmen (m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Al	Na	Mg
S858	10-12-01	730	14,2	1969,12	656,37	347,37	1115,90	137,26
S847	19-12-01	731	28,9	1641,66	547,22	289,60	1444,50	127,22
S848	26-12-01	717	5,3	1204,81	401,60	212,54	1577,28	98,74
S854	03-01-02	732	12,2	1270,81	423,60	224,18	1487,52	99,90
PV-2	19-01-02	731	25,0	716,69	238,90	126,43	4336,32	186,58
PV-4	04-02-02	690	5,1	885,64	295,21	156,24	1269,02	224,41
PV-7	12-02-02	732	30,3	2466,71	822,24	435,15	473,47	206,67
PV-10	20-02-02	731	23,7	604,12	201,37	106,57	5386,71	263,75
PV-14	28-02-02	732	19,3	393,25	131,08	69,37	1643,09	98,65
PV-16	08-03-02	731	15,1	368,50	122,83	65,01	2048,99	106,44
PV-24	25-03-02	678	22,6	619,23	206,41	109,24	338,11	98,52
PV-27	28-03-02	730	17,1	916,91	305,64	161,75	396,12	85,56
PV-30	09-04-02	729	23,3	343,56	114,52	60,61	1480,11	114,47
PV-34	17-04-02	732	21,1	455,46	151,82	80,35	740,68	126,26
PV-36	25-04-02	731	43,6	653,21	217,74	115,23	744,17	96,39
PV-42	11-05-02	730	20,3	789,42	263,14	139,26	1026,42	110,33
PV-45	19-05-02	730	17,2	904,64	301,55	159,59	464,16	197,76
PV-48	27-05-02	730	11,3	438,44	146,15	77,34	1475,64	167,97
PV-56	20-06-02	732	16,9				557,56	154,55
PV-58	28-06-02	731	11,7	8,61	2,87	1,52	238,01	130,27
PV-80	14-07-02	703	7,5	369,37	123,12	65,16	198,56	278,62
PV-82	22-07-02	678	14,2	102,85	34,28	18,14	734,22	197,29
PV-89	07-08-02	728	15,5	331,09	110,36	58,41		157,19
PV-62	15-08-02	731	22,0	373,83	124,61	65,95	278,69	228,39
PV-63	21-08-02	729	13,4	221,67	73,89	39,11	445,67	226,18
PV-66	31-08-02	728	10,5	380,36	126,79	67,10	308,49	273,17
PV-70	09-09-02	731	31,6	972,15	324,05	171,50	278,99	174,91
PV-73	16-09-02	652	28,5					148,41
PV-93	14-10-02	730	16,8	2536,03	845,34	447,38	1778,78	235,69
PV-94	18-10-02	731	25,9	994,51	331,50	175,44	1404,33	158,94
PV-98	23-10-02	731	21,4	833,14	277,71	146,97	2095,24	188,12
PV-106	03-11-02	716	14,7	304,47	101,49	53,71	3543,39	212,02
PV-108	11-11-02	664	25,4	1011,63	337,21	178,46	1977,00	296,65
PV-113	20-11-02	731	11,8	2672,43	890,81	471,44	2712,12	294,22
PV-114	26-11-02	731	691,99	230,66	122,07	750,81	142,76	

Tabla VI.2b. Datos de composición química (ng/m³) de los filtros PM2.5 analizados.

Muestra	CO ₃ ⁻²	Ca	K	Ti	Mn	Fe	SO ₄ ⁻²	S	Sr
S858	1296,58	635,63	137,24	16,44	24,96	409,08	974,19	325,20	2,72
S847	1137,78	546,49	337,54	12,63	110,46	742,82	2123,19	708,76	2,89
S848	460,91	142,71	47,01	7,90	3,93	58,47	283,62	94,68	1,54
S854	510,38	173,76	90,92	11,32	27,20	260,66	738,71	246,60	1,22
PV-2	845,75	252,87	240,32	8,64	40,46	302,13	1770,96	591,18	1,41
PV-4	1081,10	346,71	66,26	10,06	6,87	151,91	299,43	99,96	1,21
PV-7	1701,81	790,08	225,87	25,82	129,05	1306,33	1275,73	425,86	3,05
PV-10	1383,44	482,72	141,96	7,05	12,69	68,59	1476,42	492,86	2,03
PV-14	763,32	344,46	97,95	6,92	25,84	301,45	769,12	256,75	1,45
PV-16	594,48	218,91	78,48	5,03	10,15	102,33	950,72	317,37	0,84
PV-24	853,18	404,59	117,78	7,34	72,42	382,39	1427,69	476,59	1,28
PV-27	1040,74	551,22	86,93	11,82	10,16	234,16	1042,03	347,85	1,77
PV-30	861,63	383,63	105,48	6,29	11,64	90,49	1088,65	363,41	0,86
PV-34	881,60	377,31	78,53	7,78	41,72	494,23	963,47	321,62	1,14
PV-36	885,99	430,00	176,06	8,91	23,97	292,23	5014,52	1673,94	1,39
PV-42	641,60	243,86	66,18	6,02	23,04	172,51	1667,25	556,56	1,19
PV-45	1255,21	507,21	69,06	9,40	37,08	425,62	705,05	235,36	1,72
PV-48	849,62	286,47	54,10	7,60	14,80	186,58	646,97	215,97	1,35
PV-56	813,21	284,56	45,16	6,42	8,18	133,18	591,83	197,56	0,81
PV-58	622,09	197,61	23,09	4,82	2,03	63,08	305,18	101,87	0,62
PV-80	1170,38	315,90	15,76	6,12	6,63	88,23	350,22	116,91	0,69
PV-82	925,61	288,26	43,26	4,56	9,13	93,46	698,71	233,24	0,60
PV-89	872,59	319,74	30,84	5,54	4,54	91,88	957,77	319,72	0,63
PV-62	1275,80	469,88	49,87	6,58	14,26	144,31	1073,78	358,45	0,97
PV-63	1136,16	380,47	22,26	3,08	3,98	73,20	426,55	142,39	0,41
PV-66	1066,71	255,85	14,72	3,56	1,74	61,71	704,78	235,27	0,36
PV-70	1275,91	559,08	138,92	10,70	45,36	559,84	1590,51	530,94	2,35
PV-73	941,07	380,03	115,74	5,85	25,92	245,26	785,45	262,20	0,53
PV-93	1692,30	735,38	221,92	9,77	20,40	313,76	471,25	157,31	5,42
PV-94	1620,90	815,71	150,62	12,82	34,91	579,33	855,29	285,51	2,03
PV-98	1230,53	506,82	132,94	12,90	40,49	326,25	1143,33	381,66	1,50
PV-106	905,37	250,22	72,48	5,75	7,58	83,29	758,52	253,21	1,11
PV-108	1762,84	680,81	141,47	20,14	35,40	521,00	1072,94	358,17	2,20
PV-113	2060,80	883,49	223,80	11,21	12,38	233,23	725,55	242,20	5,18
PV-114	1140,51	522,41	58,78	9,40	15,65	359,24	383,22	127,93	1,15

Tabla VI.2c. Datos de composición química (ng/m³) de los filtros PM2.5 analizados.

Muestra	Ba	Pb	V	Cr	Ni	Zn	Cu	Be	P	Sc
S858	7,76	43,41	4,96	2,68	4,77	184,55	18,61	0,026	21,955	0,201
S847	8,76	356,45	10,17	7,12	8,78	1152,39	51,49	0,026	26,942	0,169
S848	4,15	5,00	3,13		4,72	25,42	27,31	0,020	12,702	0,232
S854	5,00	52,63	6,61	3,49	5,86	293,08	28,50	0,021	16,344	0,195
PV-2	4,07	217,87	12,83	3,07	6,63	1015,55	34,36	0,021	26,212	0,171
PV-4	3,79	6,98	0,65	0,26	2,46	53,16	15,09	0,019	11,508	0,247
PV-7	10,95	87,80	17,99	29,94	14,47	740,67	53,53	0,029	72,148	0,085
PV-10	5,85	6,06	25,33		20,89	230,56	13,31	0,004	8,905	0,022
PV-14	4,07	65,00	6,54	5,47	5,10	320,95	31,04	0,009		0,054
PV-16	2,64	13,17	10,18	1,99	6,88	182,40	33,01	0,002		0,008
PV-24	4,39	146,95	21,70	6,36	11,59	507,74	32,44	0,004	52,710	0,018
PV-27	1,70	12,85	2,30	2,80	7,80	80,89	11,02	0,026	1,856	0,047
PV-30	0,60	10,65	5,20	2,21	7,46	242,36	18,13	0,018	6,852	0,039
PV-34	3,79	81,51	9,17	9,41	6,82	417,51	28,16	0,023	8,245	0,032
PV-36	3,98	40,21	11,77	7,52	9,05	235,07	21,04	0,031	23,222	0,130
PV-42	3,69	78,35	19,98	4,45	11,44	224,96	42,83	0,023	35,048	0,037
PV-45	4,55	85,20	2,68	7,12	7,31	353,68	21,22	0,013	10,199	0,054
PV-48	2,39	13,90	3,90	6,31	7,92	81,36	15,03	0,017		0,004
PV-56	0,87	6,12	6,07	3,43	3,83	124,36	14,68	0,003	53,236	
PV-58	1,02	3,86	1,64	2,14	1,13	20,49	6,79	0,002	20,710	
PV-80	0,24	1,97	1,16	3,92	0,98	26,64	10,14		7,630	0,017
PV-82		8,77	5,03	3,87	1,98	52,71	12,04			9,056
PV-89	0,24	5,46	3,80	3,95	1,68	33,26	28,99		8,477	0,014
PV-62	1,41	39,37	4,18	3,94	2,16	106,88	17,44	0,003	40,782	0,069
PV-63		4,61	2,48	2,97	1,46	36,90	10,56	0,000	18,302	0,064
PV-66	0,91	1,49	4,71	3,38	2,80	26,51	29,06	0,002	20,003	0,003
PV-70	6,56	167,06	12,52	12,33	45,94	626,91	62,96	0,017	125,653	0,066
PV-73		100,13	12,08	2,97	7,63	443,12	17,37	0,001	46,537	
PV-93	330,18	55,92	4,93	4,41	3,55	649,97	27,79	0,005	23,730	
PV-94	5,55	65,71	11,57	9,56	6,98	335,68	41,07	0,008	42,070	0,008
PV-98	3,46	116,65	35,13	4,73	14,93	405,05	30,47	0,005	32,740	
PV-106	0,07	5,47	20,71	2,99	6,51	44,21	12,35			5,140
PV-108	6,32	95,20	12,22	8,27	10,52	461,03	43,07	0,008	22,417	0,033
PV-113	335,32	9,74	2,93	4,33	6,52	370,72	14,27	0,006	9,420	0,042
PV-114	3,61	17,28	1,61	6,68	3,85	110,01	18,94	0,003	10,800	0,021

Tabla VI.2d. Datos de composición química (ng/m³) de los filtros PM2.5 analizados.

Muestra	Co	As	Rb	Y	Zr	Nb	Mo	Cd	Sn	Sb
S858	0,251	0,973	0,477	0,013	3,147	0,180	6,677	0,785	3,808	0,969
S847	0,307	3,558	1,145		2,948	0,199	7,624	3,605	12,013	6,318
S848	0,118	0,321	0,146		2,950	0,137	3,710	0,087	1,990	0,310
S854	0,195	1,338	0,342		3,071	0,152	6,537	0,940	5,731	0,772
PV-2	0,357	2,233	0,795	0,072	9,974	0,105	7,748	4,535	11,955	1,958
PV-4	0,680	0,070	0,184	0,135	11,566	0,094	10,258	0,389	2,536	0,362
PV-7	0,423	3,092	0,976	0,199		0,107	24,168	1,247	12,315	2,460
PV-10	2,386	0,325	0,246		8,517	0,046		0,607	1,959	0,275
PV-14	0,229	1,264	0,455			0,053	2,908	2,486	6,734	1,468
PV-16	0,349	0,294	0,230	0,042	0,617	0,033	4,702	0,775		0,515
PV-24	0,557	1,515	0,576	0,108	1,669	0,063	9,912	1,622	5,507	1,348
PV-27	0,146	0,436	0,450		0,239	0,109		0,228	5,090	0,476
PV-30	1,153	0,381	0,357		9,480	0,098		0,654	1,755	0,715
PV-34	0,308	1,422	0,411		0,291	0,095	2,050	1,153	5,707	1,030
PV-36	0,263	1,173	0,981	0,287	15,938	0,153	15,514	1,028	5,600	1,159
PV-42	0,286	1,285	0,367	0,273	0,429	0,052	18,301	1,186	11,885	2,349
PV-45	0,395	0,312	0,410	0,299		0,085	14,973	0,463	1,921	0,595
PV-48	0,625	0,403	0,278	1,011	4,664	0,119	11,659	0,373	1,764	0,331
PV-56	0,173	0,254	0,104		8,393	0,056		0,302	0,560	1,799
PV-58	0,043	0,178	0,058	0,039	15,475	0,063	0,506	0,085	0,560	0,207
PV-80	0,103		0,046	0,113	13,617	0,066		0,060	2,536	0,528
PV-82	0,145		0,063		12,261	0,058		0,224	2,518	0,138
PV-89	0,117	0,061	0,074	0,058	12,957	0,059		0,089	1,429	0,354
PV-62	0,114	1,082	0,116	0,040	12,889	0,079		1,237	2,278	0,501
PV-63	0,083	0,141	0,059		10,016	0,076		0,713	1,550	0,229
PV-66	0,074	0,150	0,038	0,124	11,143	0,058	4,451	0,170	0,654	0,195
PV-70	0,274	3,066	0,502	0,131	9,415	0,096	48,837	1,811	13,379	1,730
PV-73	0,123	1,049	0,308		5,650	0,060		1,322	10,951	0,728
PV-93	0,140	0,709	0,214	0,032		0,051	3,534	0,929	9,752	0,937
PV-94	0,192	3,890	0,307			0,020	9,781	0,619	8,930	1,190
PV-98	0,133	1,404	0,255		0,451	0,052	9,111	1,428	10,714	0,891
PV-106	0,088	0,152	0,056		1,425	0,032	5,223	0,116		0,397
PV-108	0,363	1,299	0,548	0,086	8,366	0,119	12,545	1,282	6,428	1,951
PV-113	0,863	0,453	0,326	0,209	10,130	0,070	6,662	0,339	2,713	0,397
PV-114	0,296	0,792	0,259	0,039	8,488	0,097	8,208	0,378	3,625	0,420

Tabla VI.2e. Datos de composición química (ng/m³) de los filtros PM2.5 analizados.

Muestra	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
S858	0,043	0,144	0,282	0,030	0,104	0,013	0,007	0,012	0,003
S847	0,088	0,101	0,228	0,022	0,066	0,007	0,005	0,007	0,002
S848	0,012	0,109	0,167	0,018	0,044		0,002		0,001
S854	0,022	0,089	0,146	0,017	0,045	0,001	0,003		0,001
PV-2	0,060	0,378	0,269	0,052	0,094	0,024	0,009	0,044	0,008
PV-4	0,012	0,125	0,238	0,031	0,117	0,037	0,012	0,045	0,010
PV-7	0,077	0,266	0,554	0,054	0,199	0,033	0,011	0,035	0,004
PV-10	0,006	1,184	0,269	0,118	0,050	0,001	0,003	0,044	
PV-14	0,043	0,064	0,079	0,010	0,014		0,001		
PV-16	0,001	0,148	0,123	0,021	0,039	0,011	0,003	0,014	0,002
PV-24	0,034	0,613	0,290	0,070	0,127	0,024	0,006	0,045	0,005
PV-27	0,044	0,103	0,197	0,027		0,023	0,007	0,020	0,005
PV-30	0,043	0,070	0,017	0,009		0,002	0,002		0,001
PV-34	0,039	0,174	0,098	0,024		0,016	0,006	0,018	0,004
PV-36	0,116	0,368	0,473	0,065		0,069	0,019	0,095	0,017
PV-42	0,038	0,975	0,446	0,099	0,104	0,049	0,011	0,094	0,009
PV-45	0,038	0,237	0,450	0,050	0,118	0,051	0,013	0,071	0,012
PV-48	0,027	0,499	0,930	0,113	0,238	0,114	0,039	0,157	0,041
PV-56	0,007	0,071	0,030	0,007	0,003				
PV-58	0,005	0,053	0,054	0,007	0,016	0,007	0,001	0,011	0,001
PV-80	0,001	0,020	0,020	0,002	0,004				
PV-82	0,004	0,027							
PV-89	0,007	0,063	0,026	0,005	0,002				
PV-62	0,012	0,086	0,079	0,010	0,015	0,002	0,001	0,006	0,000
PV-63	0,004	0,025	0,014	0,002					
PV-66	0,006	0,108	0,100	0,014	0,033	0,017	0,003	0,027	0,003
PV-70	0,068	0,105	0,215	0,017	0,043	0,012	0,003	0,014	0,001
PV-73	0,028	0,035							
PV-93	0,020	0,046	0,220	0,009	0,024	0,006		0,006	0,001
PV-94	0,032	0,115	0,218	0,015	0,030	0,006		0,009	0,001
PV-98	0,033	1,455	0,311	0,065	0,034	0,008		0,043	0,001
PV-106	0,013	0,587	0,093	0,032	0,019	0,002		0,021	0,000
PV-108	0,045	0,189	0,263	0,030	0,058	0,018	0,005	0,022	0,003
PV-113	0,020	0,106	0,184	0,021	0,046	0,015	0,050	0,016	0,002
PV-114	0,016	0,072	0,114	0,013	0,028	0,008	0,003	0,009	0,001

Tabla VI.2f. Datos de composición química (ng/m³) de los filtros PM2.5 analizados.

Muestra	Dy	Er	Yb	Lu	Hf	W	Bi	U
S858	0,004	0,011	0,010	0,006	0,164	0,110	0,462	
S847		0,010	0,010	0,007	0,164	0,384	1,410	0,018
S848		0,006	0,003	0,006	0,146		0,326	
S854		0,005	0,005	0,006	0,157	0,080	0,481	
PV-2	0,025	0,013	0,013	0,007	0,395	0,165	1,677	0,066
PV-4	0,039	0,018	0,017	0,008	0,441	0,181	0,602	0,093
PV-7	0,025	0,020	0,029	0,005		0,436	1,002	0,157
PV-10		0,001	0,002	0,001	0,356	0,056	0,832	0,056
PV-14				0,001		0,314	0,749	
PV-16	0,013	0,005	0,004	0,001	0,038	0,100	0,107	0,013
PV-24	0,025	0,012	0,009	0,001	0,085	0,334	0,374	0,050
PV-27	0,012	0,009	0,010	0,007		0,408	0,239	
PV-30		0,000	0,003	0,006	0,389	0,073	0,197	
PV-34	0,007	0,007	0,009	0,007		0,116	0,216	
PV-36	0,083	0,034	0,032	0,010	0,653	0,479	0,483	0,133
PV-42	0,064	0,024	0,022	0,002		0,292	0,563	0,172
PV-45	0,068	0,028	0,023	0,003		0,201	0,326	0,201
PV-48	0,163	0,071	0,050	0,010	0,156	0,515	0,220	0,533
PV-56					0,200	0,067	0,054	
PV-58	0,010	0,003	0,004	0,000	0,415	0,031	0,040	0,015
PV-80					0,395	0,038	0,064	
PV-82					0,360	0,019	0,066	
PV-89					0,369	0,094	0,044	
PV-62	0,002	0,002	0,001	0,000	0,367	0,135	0,224	0,004
PV-63					0,275	0,094	0,086	
PV-66	0,026	0,008	0,008	0,001	0,302	0,069	0,036	0,046
PV-70	0,010	0,005	0,006	0,001	0,200	0,613	0,510	0,017
PV-73					0,122	0,247	0,707	
PV-93	0,005	0,002	0,003	0,000		0,085	0,251	0,007
PV-94						0,325	0,454	0,033
PV-98	0,004					0,038	0,058	0,795
PV-106						0,084	0,027	0,367
PV-108	0,018	0,008	0,006	0,001	0,318	0,219	1,054	0,042
PV-113	0,019	0,018	0,018	0,003	0,333	0,094	0,738	0,013
PV-114	0,010	0,005	0,003	0,001	0,339	1,196	0,489	0,021

VII. ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DE LAS SUPERACIONES

VII.a. Niveles y composición media del material particulado

Del 10 de Diciembre de 2001 al 26 de Noviembre de 2002 se llevó a cabo en Abanto el muestreo de PM10 y PM2.5, utilizando dos equipos gravimétricos (de referencia EN-1234-1) MCV de alto volumen, uno con cabezal de corte PM10 y otro con cabezal de corte PM2.5. El número de muestras totales (2 muestras de PM10 y 1 de PM2.5 semanales) fue de 77 de PM10 y 44 de PM2.5. De este conjunto de muestras, 46 filtros de PM10 ($n = 77$) y 35 de PM2.5 ($n = 44$) fueron seleccionados para su posterior análisis.

En la **Tabla VII.1** se recogen los valores medios, máximos y mínimos de concentración de los componentes mayoritarios y trazas en PM10. En promedio, la suma de los componentes analizados representa el 46 % de la masa de PM10. Del conjunto de elementos traza, el único sometido a legislación específica es el Pb, para el que se ha establecido un nivel límite anual para el año 2010 de 500 ng/m^3 . Asimismo, la directiva 2004/107/CE contempla niveles objetivo para el 2012 de Cd (5 ng/m^3), As (6 ng/m^3) y Ni (20 ng/m^3). Los niveles medios de estos elementos detectados en Abanto (Pb = 145, Cd = 1.95, As = 1.58 y Ni = 11.6 ng/m^3) se encuentran, por tanto, por debajo de estos valores.

La composición de PM10 en Abanto se puede resumir de la siguiente forma (**Figura VII.1**): 27 % Crustal (suma de Ca, Fe, Al_2O_3 , SiO_2 , etc.), 10 % Marino (Na), 4 % Secundario (SO_4^{2-}), 3 % Trazas y 56 % Indeterminado.

En la **Tabla VII.2** se recogen los valores medios, máximos y mínimos de concentración de los componentes mayoritarios y trazas en PM2.5, así como de las muestras simultáneas de PM10 (35 muestras de cada fracción). En promedio, la suma de los componentes analizados representa el 37 % de la masa de PM2.5.

La composición de PM2.5 en Abanto se puede resumir de la siguiente forma (**Figura VII.2**): 16 % Crustal (suma de Ca, Fe, Al_2O_3 , SiO_3 , etc.), 7 % Marino (Na), 6 % Secundario (SO_4^{2-}), 3 % Trazas y 69 % Indeterminado. Como puede observarse, existe un claro descenso de la masa de elementos crustales y aerosol marino en PM2.5 con respecto al PM10.

Tabla VII.1: Concentraciones, medias, máximas y mínimas de contaminantes gaseosos, PM10 y componentes mayores y traza en PM10 determinados en la estación de Abanto desde Diciembre de 2001 a Noviembre de 2002.

		Media	Max	Min		Media	Max	Min
N		46			Be	ng/m ³	0,02	0,08
PM10	µg/m ³	36,7	98,6	8,10	Sc	ng/m ³	0,09	0,58
CO ₃ ⁻²	µg/m ³	3,14	12,0	0,74	Ti	ng/m ³	26,5	80,9
SiO ₂	µg/m ³	2,67	9,21	0,21	V	ng/m ³	14,4	44,3
Al ₂ O ₃	µg/m ³	0,89	3,07	0,07	Cr	ng/m ³	12,9	53,7
Ca	µg/m ³	1,57	6,80	0,29	Mn	ng/m ³	60,0	290
K	µg/m ³	0,26	0,98	0,01	Co	ng/m ³	1,09	6,78
Na	µg/m ³	3,49	12,0	0,55	Ni	ng/m ³	11,6	34,5
Mg	µg/m ³	0,31	0,73	0,08	Cu	ng/m ³	40,5	119
Fe	µg/m ³	0,87	4,26	0,10	Zn	ng/m ³	646	4260
P	µg/m ³	0,07	0,34	0,01	As	ng/m ³	1,58	6,86
SO ₄ ⁻²	µg/m ³	1,59	6,77	0,35	Rb	ng/m ³	0,83	3,74
Suma	µg/m ³	15,87	48,08	2,93	Sr	ng/m ³	5,54	16,8
Analizado	%	46	92	17	Y	ng/m ³	0,17	0,62
Crustal	µg/m ³	9,77	37,11	1,59	Zr	ng/m ³	6,78	17,0
Marino	µg/m ³	3,49	12,00	0,55	Nb	ng/m ³	0,16	0,46
Secundario	µg/m ³	1,59	6,77	0,35	Mo	ng/m ³	8,45	49,2
Trazas	µg/m ³	1,07	6,64	0,11	Cd	ng/m ³	1,95	12,6
SO ₂	µg/m ³	24,2	60,1	6,75	Sn	ng/m ³	6,98	28,0
NO	µg/m ³	18,61	55,1	1,54	Sb	ng/m ³	1,82	6,53
NO ₂	µg/m ³	20,7	55,9	1,21	Cs	ng/m ³	0,07	0,31
O ₃	µg/m ³	37,2	68,1	8,12	Ba	ng/m ³	11,0	46,0

N: número de muestras de PM10 analizadas; Suma: suma de los niveles de compuestos analizados en PM10; % analizado: relación porcentual entre la concentración gravimétrica de PM10 y la suma de los compuestos analizados; Crustal: suma de SiO₂, Al₂O₃, Ca, K, Mg, Fe; P y CO₃⁻²; Marino: Na; Secundario: SO₄⁻².

PM 10

	Secundario	Trazas
Marino	1,6 µg/m ³	1,1 µg/m ³
3,5	4%	3%

Figura VII.1. Composición de PM10 (n=46) entre 10/12/01 y 26/11/02.**Tabla VII.2:** Niveles, medios, máximos y mínimos de componentes mayores y traza en PM10 o PM2.5 determinados en la estación de Abanto desde Diciembre de 2001 a Noviembre de 2002.

PM10			PM2.5		
N	Media	Max	Min	Media	Max
PM	35			35	
μg/m ³	31,1	63,5	8,1	18,576	43,570
CO ₃ ⁻²	μg/m ³	2,8	6,7	0,74	1,073
SiO ₂	μg/m ³	2,40	7,43	0,21	0,813
Al ₂ O ₃	μg/m ³	0,80	2,48	0,07	0,271
Ca	μg/m ³	1,38	3,82	0,29	0,428
K	μg/m ³	0,22	0,62	0,02	0,106
Na	μg/m ³	3,60	12,0	0,55	1,290
Mg	μg/m ³	0,30	0,65	0,08	0,173
Fe	μg/m ³	0,72	2,65	0,10	0,284
P	μg/m ³	0,06	0,24	0,01	0,024
SO ₄ ⁻²	μg/m ³	1,32	6,77	0,35	1,032
Suma	μg/m ³	14,4	34,0	2,93	6,00
Analizado	%	48	92	27	37
Crustal	μg/m ³	8,72	24,6	1,60	3,172
Marino	μg/m ³	3,60	12,0	0,55	1,290
Secundario	μg/m ³	1,32	6,77	0,35	1,03
Trazas	μg/m ³	0,80	2,50	0,11	0,508
					5,387
					0,297
					0,199
					0,086
					0,058
					0,002
					0,284
					0,126
					0,002
					0,284
					0,084

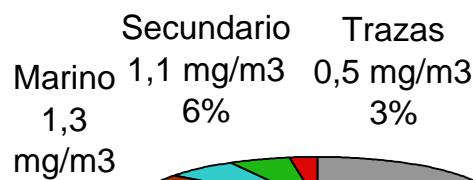
PM 2.5

Figura VII.2. Composición de PM2.5 (n=35), entre 10/12/01 y 26/11/02.

Tabla VII.2 (continuación): Niveles, medios, máximos y mínimos de componentes mayores y traza en PM10 determinados en la estación de Abanto desde Diciembre de 2001 a Noviembre de 2002.

PM10							
		Media	Max	Min		Media	Max
Be	ng/m ³	<0,05	0,07	<0,05	La	ng/m ³	0,46
Sc	ng/m ³	0,08	0,58	<0,05	Ce	ng/m ³	0,48
Ti	ng/m ³	23,7	80,8	5,44	Pr	ng/m ³	0,06
V	ng/m ³	12,1	44,3	0,89	Nd	ng/m ³	0,12
Cr	ng/m ³	11,2	49,9	0,55	Eu	ng/m ³	0,01
Mn	ng/m ³	50,1	207	2,94	Gd	ng/m ³	0,04
Co	ng/m ³	0,80	2,98	0,14	Tb	ng/m ³	<0,01
Ni	ng/m ³	9,80	34,5	1,60	Dy	ng/m ³	0,03
Cu	ng/m ³	37,4	82,8	11,6	Er	ng/m ³	0,02
Zn	ng/m ³	468	1550	19,8	Yb	ng/m ³	0,02
As	ng/m ³	1,34	6,48	0,07	Lu	ng/m ³	<0,01
Rb	ng/m ³	0,71	2,15	0,07	Hf	ng/m ³	0,21
Sr	ng/m ³	5,01	14,1	1,04	W	ng/m ³	0,74
Y	ng/m ³	0,16	0,62	<0,05	Pb	ng/m ³	92,5
Zr	ng/m ³	6,52	17,0	0,24	Bi	ng/m ³	481
Nb	ng/m ³	0,15	0,44	<0,05	U	ng/m ³	0,55
Mo	ng/m ³	7,81	49,2	0,80			2,34
Cd	ng/m ³	1,45	7,11	0,10			0,41
Sn	ng/m ³	6,53	28,03	0,77			<0,05
Sb	ng/m ³	1,57	5,96	0,12			
Cs	ng/m ³	0,06	0,20	<0,05			
Ba	ng/m ³	8,51	27,17	0,98			

N: número de muestras simultáneas analizadas; Suma: suma de los niveles de compuestos analizados en PM10 o PM2.5; % analizado: relación porcentual entre la concentración gravimétrica de PM10 o PM2.5 y la suma de los compuestos analizados; Crustal: suma de SiO₂, Al₂O₃, Ca, K, Mg, Fe; P y CO₃²⁻; Marino: Na; Secundario: SO₄²⁻.

Tabla VII.2 (continuación): Niveles, medios, máximos y mínimos de componentes mayores y traza en PM2.5 determinados en la estación de Abanto desde Diciembre de 2001 a Noviembre de 2002.

PM2.5									
		Media	Max	Min			Media	Max	Min
Be	ng/m ³	<0,05	<0,05	<0,05	La	ng/m ³	0,25	1,46	<0,05
Sc	ng/m ³	0,06	0,25	<0,05	Ce	ng/m ³	0,21	0,93	<0,05
Ti	ng/m ³	<0,05	<0,05	<0,05	Pr	ng/m ³	0,03	0,12	<0,01
V	ng/m ³	<0,05	<0,05	<0,05	Nd	ng/m ³	0,05	0,24	<0,01
Cr	ng/m ³	<0,05	<0,05	<0,05	Eu	ng/m ³	<0,01	0,05	<0,01
Mn	ng/m ³	<0,05	0,13	<0,05	Gd	ng/m ³	0,03	0,16	<0,01
Co	ng/m ³	0,35	2,39	<0,05	Tb	ng/m ³	<0,01	0,04	<0,01
Ni	ng/m ³	7,78	45,9	0,98	Dy	ng/m ³	0,02	0,16	<0,01
Cu	ng/m ³	<0,05	0,06	<0,05	Er	ng/m ³	<0,01	0,07	<0,01
Zn	ng/m ³	0,30	1,15	<0,05	Yb	ng/m ³	<0,01	0,05	<0,01
As	ng/m ³	1,01	3,90	0,06	Lu	ng/m ³	<0,01	0,01	<0,01
Rb	ng/m ³	0,35	1,14	<0,05	Hf	ng/m ³	0,22	0,65	0,04
Sr	ng/m ³	<0,05	<0,05	<0,05	W	ng/m ³	0,22	1,20	0,02
Y	ng/m ³	0,10	1,01	<0,05	Pb	ng/m ³	0,06	0,36	<0,05
Zr	ng/m ³	6,21	16,0	0,24	Bi	ng/m ³	<0,05	1,68	<0,05
Nb	ng/m ³	0,09	0,20	<0,05	U	ng/m ³	0,05	0,53	<0,05
Mo	ng/m ³	7,45	48,8	0,51					
Cd	ng/m ³	0,95	4,54	0,06					
Sn	ng/m ³	5,09	13,38	0,56					
Sb	ng/m ³	1,03	6,32	0,14					
Cs	ng/m ³	<0,05	0,12	<0,05					
Ba	ng/m ³	<0,05	0,34	<0,05					

N: número de muestras simultáneas analizadas; Suma: suma de los niveles de compuestos analizados en PM10 o PM2.5; % analizado: relación porcentual entre la concentración gravimétrica de PM10 o PM2.5 y la suma de los compuestos analizados; Crustal: suma de SiO₂, Al₂O₃, Ca, K, Mg, Fe; P y CO₃²⁻; Marino: Na; Secundario: SO₄²⁻.

VII.b. Identificación de fuentes

El área de Abanto donde se localiza la estación de muestreo se encuentra, como ya se ha indicado (cf. Capítulo 3), próxima a la gran refinería de Petronor y a la autovía de Bilbao-Santander siendo, a priori, estos dos los posibles focos principales de emisión de MPA. No obstante, se ha demostrado que hacia el SE de la estación (cf. Capítulo 5) debe existir una fuente de MPA de mayor entidad que, en principio, podría relacionarse con las instalaciones siderúrgicas de Nervacero y, en mucha menor medida, ACB o Productos Tubulares, la última debido a su menor importancia como fundición y ACB por encontrarse algo fuera de la orientación señalada y en un entorno algo distinto (Ría del Nervión). Por otra parte, y como se ha señalado en el Capítulo 4, la existencia de escombreras ca. 2 km hacia el Sur-Sureste del punto de muestreo también permite suponer que debe existir una fuente de MPA, en este caso más bien de tipo crustal, relacionada con los restos de la antigua actividad minera en las

inmediaciones de Abanto. La **Figura VII.3** muestra la posición respectiva de los potenciales focos de MPA mencionados, incluyendo un detalle de las características y posición de la zona de escombreras con respecto a la estación de muestreo (véase también foto de Portada).

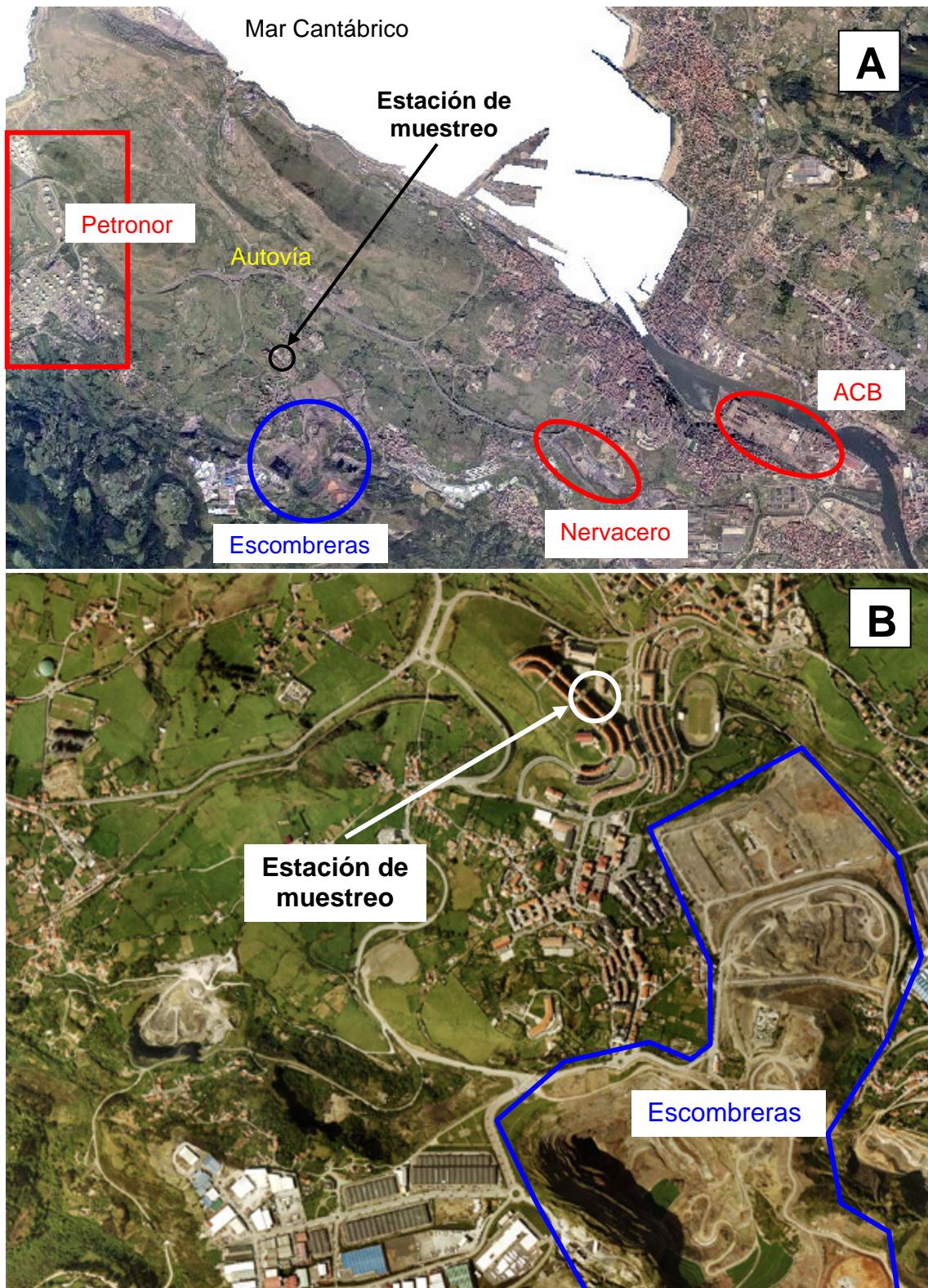


Figura VII.3. A. Ortofotografía satelital que muestra la ubicación de la Estación de muestreo (indicated by a black arrow) en el contexto de la localidad de Abanto. B. Detalle de la zona de escombreras (marcada con un cuadro azul) en la periferia de la localidad, con la Estación de muestreo indicada por un círculo blanco.

Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco. **B.** Zona de escombreras al S-SE de la estación de Abanto (archivo de la Diputación Foral de Vizcaya).

Uno de los objetivos del estudio planteado consistía precisamente en intentar delimitar hasta donde fuese posible la influencia de cada uno de los focos de emisión. A fin de tener una idea de las contribuciones de las diferentes posibles fuentes de contaminación en el material particulado muestreado en Abanto, se ha realizado un análisis de componentes principales por medio de técnicas de modelo en receptor utilizando el software Statistica para PC con los niveles de contaminantes, PM10 y elementos más relevantes obtenidos en los análisis químicos (Cf. Fichas).

Fuentes de PM10

Para obtener de forma cualitativa la contribución de las distintas fuentes de PM10, en Abanto, se ha realizado un análisis de componentes principales basado en técnicas de modelos orientados al receptor. Para ello se han utilizado los resultados de concentraciones de componentes mayoritarios y trazas en PM10 obtenidos por análisis químico.

Una vez identificadas las fuentes, los resultados de los análisis químicos de aniones y C, actualmente en fase de realización, permitirán, eventualmente, y mediante la aplicación de un análisis de regresión multilinear, cuantificar la contribución de cada fuente sobre los niveles diarios de PM10 y PM2.5.

El análisis de componentes principales realizado en este estudio a partir de las muestras analizadas permite distinguir varios factores o fuentes que, en total, logran explicar el 80 % aproximadamente de la varianza de las muestras (**Tablas VII.3 y VII.4**). Los componentes con una contribución más significativa (loading factor más de 0,5) se señalan en negrita de las Tablas.

La **Tabla VII.3** muestra que el análisis de componentes principales realizado a partir de las 46 muestras de PM10 obtenidas en Abanto ha permitido distinguir cuatro factores o fuentes que explican en conjunto el 81 % de la varianza las muestras.

Factor 1 - Industrial: El perfil químico del primero de los factores ha permitido identificar una contribución industrial próxima a la estación de muestreo, muy probablemente la acería ubicada al Sureste de la estación, que representa el 55 % de la varianza total del conjunto de muestras. Los componentes principales de este factor son Pb, Cd, Zn, Sb, Cu, Mn, As, Sn, Ba y Fe. Se trata así de una contribución de carácter local.

Factor 2 - Crustal: El factor número 2 se ha identificado como crustal, y representa el 14 % de la varianza total. Sus componentes mayoritarios son el Al_2O_3 , Ti, Sr, CO_3^{2-} , Ca, K, Rb, Fe y Mg.

Factor 3 – Marino: El factor 3, de origen marino, representa el 7 % de la varianza de las muestras. Sus componentes principales son Na y Mg. Junto con el Na y Mg (Marino) aparece el V que podría ser originado en una refinería ubicada al Noroeste de la estación de Abanto, coincidente con la dirección en

la que se encuentra el mar. En anticorrelación a estos últimos tenemos el P que podría estar relacionado con el tráfico.

Factor 4 – Tráfico: El factor 4 tiene un origen antropogénico y esencialmente local. Se encuentra relacionado con el tráfico.

Tabla VII.3. Resultados del análisis de componentes principales aplicado a los datos de PM10 obtenidos para Abanto durante. En columnas aparecen los factores principales o fuentes identificadas y los pesos (loading factors) ordenados para cada elemento significativo de dicha fuente.

Factor 1 Acería	Factor 2 Crustal	Factor 3 Marino	Factor 4 Tráfico
Pb 0,907	Al ₂ O ₃ 0,939	P 0,476	Ni 0,844
Cd 0,900	Ti 0,909	Cr 0,280	Cr 0,575
Zn 0,895	Sr 0,832	Sn 0,216	V 0,500
Sb 0,787	CO ₃ ⁻² 0,828	Fe 0,195	P 0,485
Cu 0,781	Ca 0,802	As 0,161	CO ₃ ⁻² 0,309
Mn 0,757	K 0,758	Mn 0,143	Ba 0,305
As 0,744	Rb 0,721	Ba 0,134	Sn 0,285
Sn 0,656	Fe 0,664	Cu 0,091	Mg 0,283
Ba 0,630	Mg 0,568	Ti 0,089	Ca 0,279
Fe 0,621	Ba 0,489	Pb 0,078	Cu 0,247
K 0,476	Cr 0,486	Rb 0,066	Fe 0,243
V 0,439	Sn 0,417	Ca 0,009	As 0,238
Rb 0,431	Mn 0,404	Sb -0,008	Mn 0,207
Cr 0,430	Sb 0,372	Cd -0,021	Zn 0,189
P 0,335	As 0,328	Zn -0,029	Sr 0,185
Ni 0,308	Cu 0,291	Al ₂ O ₃ -0,058	Ti 0,180
Ca 0,305	P 0,269	CO ₃ ⁻² -0,135	Sb 0,135
Sr 0,274	Ni 0,257	Nil -0,151	Pb 0,134
CO ₃ ⁻² 0,249	Zn 0,228	Sr -0,189	K 0,087
Ti 0,143	Na 0,104	K -0,280	Cd 0,065
Al ₂ O ₃ 0,093	V 0,080	V -0,433	Rb 0,035
Mg -0,058	Pb 0,076	Mg -0,592	Al ₂ O ₃ -0,004
Na -0,185	Cd 0,021	Na -0,908	Na -0,013
Var = 55 %		Var = 14 %	
		Var = 7 %	
		Var = 4 %	

Fuentes de PM2.5

El análisis de componentes principales se ha realizado para el total de 35 muestras de PM2.5 analizadas. Este análisis ha permitido la identificación de fuentes con contribución a los niveles de PM2.5 tal como se refleja en los factores de la **Tabla VII.4.**

El resultado del análisis de componentes principales ha sido la identificación de cinco fuentes que explican el 82 % de la varianza total de las muestras, un resultado muy similar al obtenido para PM10 (81 %).

La identificación de factores coincide con la realizada para PM10, ya que se obtienen las mismas fuentes (acería, crustal, marino y tráfico) con la diferencia de la fuente crustal que aparece de dos formas diferentes (1 y 2; **Tabla VII.4**). El rasgo más significativo de los componentes crustales es que uno de ellos, el factor 1, con ca. un 14 % de la varianza, muestra claramente la influencia de material carbonatado en las fuentes de PM2.5. Este material carbonatado podría, en principio, atribuirse a la resuspensión de tierra procedente de las escombreras situadas al S-SE del punto de muestreo, dado que dichos materiales están constituidos fundamentalmente por calizas y rocas sedimentarias relacionadas.

Tabla VII.4. Resultados del análisis de componentes principales aplicado a los datos de PM2.5 obtenidos para Abanto. En columnas aparecen los factores principales o fuentes identificadas y los pesos (loading factors) ordenados para cada elemento significativo de dicha fuente.

Factor 1 Acería	Factor 2 Crustal1	Factor 3 Marino	Factor 4 Tráfico	Factor 5 Crustal2
Pb 0,918	CO ₃ ⁻² 0,904	Na 0,920	Ni 0,805	Ti 0,816
Cd 0,902	Mg 0,790	V 0,562	P 0,777	Ba 0,755
Zn 0,865	Ca 0,740	K 0,304	V 0,625	Fe 0,751
Sb 0,827	Sr 0,692	Sr 0,216	Cu 0,523	Cr 0,687
K 0,712	Al ₂ O ₃ 0,553	Ni 0,176	Sn 0,438	Al ₂ O ₃ 0,637
Rb 0,693	K 0,369	Cd 0,171	Cr 0,420	Mn 0,601
Sn 0,686	Ti 0,310	Ba 0,171	As 0,418	Rb 0,563
As 0,662	Zn 0,214	Al ₂ O ₃ 0,132	Fe 0,291	Ca 0,501
Mn 0,621	Na 0,181	Zn 0,123	Mn 0,280	Sr 0,441
Cu 0,555	Fe 0,178	Rb 0,078	Ba 0,214	As 0,422
Fe 0,437	Cr 0,134	Mg 0,064	Pb 0,212	K 0,399
Ba 0,402	P 0,132	Ti 0,029	Zn 0,177	Cu 0,384
P 0,287	Ba 0,132	Pb 0,019	Ti 0,153	CO ₃ ⁻² 0,290
Sr 0,241	Sn 0,107	Sn 0,004	CO ₃ ⁻² 0,123	Sb 0,278
Al ₂ O ₃ 0,216	Ni 0,084	CO ₃ ⁻² -0,010	Cd 0,117	Sn 0,268
Ti 0,183	As 0,065	Ca -0,048	Ca 0,105	Zn 0,255
V 0,181	Mn 0,022	Sb -0,052	Mg 0,101	Ni 0,155
Ni 0,178	Cu 0,000	Cu -0,072	Sb 0,078	P 0,125
Cr 0,177	Pb -0,002	Mn -0,082	Rb 0,057	V 0,120
Ca 0,132	Sb -0,028	As -0,085	K 0,005	Pb 0,113
Na 0,113	Cd -0,058	Fe -0,189	Na -0,032	Cd -0,010
CO ₃ ⁻² 0,025	Rb -0,063	Cr -0,308	Sr -0,104	Na -0,073
Mg -0,182	V -0,095	P -0,318	Al ₂ O ₃ -0,132	Mg -0,228
Var = 48 %		Var = 14 %	Var = 9 %	Var = 7 %
				Var = 4 %

VIII. CONCLUSIONES

Estudio gravimétrico e intercomparación de equipos

- Desde el 10 de Diciembre de 2001 hasta el 26 de Noviembre de 2002 se realizaron semanalmente dos muestreos de 24 horas consecutivos de PM10 y un muestreo de PM2.5 utilizando dos captadores MCV de alto volumen (MCV PM1025-CAV) con cabezales de corte PM10 y PM2.5 y, como soporte, filtros de fibra de cuarzo.
- Los días de muestreo fueron móviles y desplazados un día cada semana.
- Se había previsto recoger 90 filtros de PM10 y 45 de PM2.5. Sin embargo, por diversos problemas técnicos durante el muestreo (cortes de corriente, deterioro de filtros, etc.) el número de filtros recogidos ha sido 77 de PM10 y 44 de PM2.5.
- La intercomparación entre el equipo de referencia de medida de PM10 y el equipo automático de atenuación Beta instalado en la estación de Abanto proporciona un factor de intercomparación global de 1,37 con cierta variación estacional en los resultados obtenidos.
- Corrigiendo los datos automáticos mediante los factores estacionales, los resultados son muy similares (media y días de superación) a los obtenidos utilizando el factor único global.
- Aunque este factor supera ligeramente al de 1,2 obtenido para Llodio, a largo del estudio (Figuras, etc.) los datos del equipo Beta se han multiplicado por 1,2 ya que este último es el valor obtenido con un equipo de referencia Andersen y en un laboratorio homologado (Instituto Carlos III). De este modo se cumple, asimismo, lo estipulado en la normativa vigente.

Niveles medios de PM10 y PM2.5

- El nivel medio de PM10 registrado durante los 77 días de muestreo (Diciembre 2001-Noviembre 2002) ha sido de **31,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** .
- Excluyendo los días de intrusión de aire sahariano, este valor medio de PM10 es de **29,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** de PM10.
- Ambos valores están por debajo del valor límite anual de **46,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** PM10 legislado para el año 2002 (Real Decreto 1073/2002), e incluso de los **40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** de PM10 correspondientes al 2005.
- Por otro lado, el nivel medio de PM2.5 registrado para el mismo periodo de muestreo (Diciembre 2001-Noviembre 2002, 45 días) es de **20,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** mientras que esta media no varía significativamente excluyendo los días de intrusión de aire sahariano (**20,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** PM2.5).

Relación entre MPA y gases contaminantes

- Los niveles de NO, NO₂ y O₃ presentan una tendencia estacional propia de entornos urbanos. Así, durante el invierno, las mayores tasas de emisión y las menores condiciones dispersivas de la atmósfera favorecieron la acumulación de contaminantes como el NO y NO₂.
- El ozono muestra una tendencia inversa. Como es habitual los valores anuales más altos de ozono se registraron durante los meses de primavera debido al aumento de la actividad fotoquímica.
- El SO₂ presenta valores medios bajos para todo el periodo de muestreo evidenciando que no existen importantes fuentes de este contaminante en las inmediaciones de la zona estudiada.
- Los valores mínimos para la mayoría de los contaminantes (NO₂, NO, PM10 Beta, SO₂) corresponden a los domingos, siendo el segundo menor valor por lo general el de los sábados.
- El comportamiento del O₃ parece contrario al de los demás contaminantes, teniendo su máximo los fines de semana y su mínimo durante los días entre semana, lo que podría ser debido a que el ozono se consume al reaccionar con el NO de la atmósfera.
- Las altas correlaciones (coeficientes de correlación de Pearson) entre partículas en suspensión (PM10), NO₂ y NO permiten asumir que una parte del PM10 registrado en Abanto tiene un origen en el tráfico local.
- Los datos de concentraciones de partículas y otros contaminantes indican la existencia de un flujo paralelamente a la dirección del Valle del Nervión. Este flujo de contaminantes marcado por la orografía es característico del País Vasco.

Superaciones de PM10

- El número de superaciones, por encima de 70 µg/m³, para los 77 días de muestreo fue de **2**. Estas superaciones no coincidieron con días de intrusión africana, por lo tanto se habrían debido exclusivamente a **causas antropogénicas**. Extrapolando, correspondería a 10 superaciones en 1 año.
- Si consideramos los días de superación de los valores de PM10 por encima de los 50 µg/m³ (Real Decreto 1073/2002 para el año 2005) tenemos:
 - Número de superaciones: 8 días
 - 3 casos coinciden con intrusiones africanas y podrían, por tanto, no ser debidas a causas antropogénicas. Extrapolando, correspondería a 24 días en 1 año.
- Se estaría por tanto por debajo incluso del máximo admitido por el Real Decreto de 50 µg/m³ en 35 días para el año 2005.

Niveles de plomo (Pb)

- El valor medio del contenido en plomo durante el periodo de estudio es de **145 ng/m³**, muy por debajo del valor límite medio anual permitido

- según el Real Decreto 1073/2002 para el año 2002, que es de **900 ng/m³** (incluso para el año 2005, **500 ng/m³**).
- Superación del valor límite (600 ng/m³): 14 días.
 - Se superaron los **900 ng/m³** de **Pb** un solo día (1560 ng/m³).

Niveles de Níquel, Arsénico y Cadmio

- Los valores medios obtenidos para estos elementos durante el periodo de estudio son los siguientes: **12 ng/m³ Ni, 2 ng/m³ As, 2 ng/m³ Cd.** Mientras que los valores objetivo medios anuales recomendados por la Directiva Europea 2004/107/ce son: **20 ng/m³ Ni, 6 ng/m³ As, 5 ng/m³ Cd.** Por tanto en la estación de Abanto se cumpliría la normativa.
- Se superaron los valores medios anuales recomendados: 12 días para el Ni, 1 para el As (7 ng/m³) y 1 para el Cd (12 ng/m³)

Fuentes

- El análisis factorial de los datos de PM10 y PM2.5 disponibles indica que existe una clara relación entre actividad industrial y contaminación por MPA en la zona de estudio.
- Tanto en PM10 como en PM2.5 el factor más importante (ca. 50 % de la varianza) es atribuible a un origen antropogénico, probablemente relacionado con industrias siderúrgicas situadas hacia el S-SE de la estación.
- Otras fuentes de PM10 y PM2.5, aunque de menor entidad, están representadas por aportes de origen marino y crustal y, en menor medida, por el tráfico local.

XI. REFERENCIAS

1999/30/CE (Directiva Europea, 1999) Council Directive relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxide of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. The Council of the European Union.

Adedokun J. A., Emofurieta W. O., Adedeji O. A. (1989) *Physical, chemical and mineralogical properties of harmattan dust at Ile-Ife, Nigeria*. Theoretical and Applied Climatology 40, 161-169.

Aitken J. (1880) On dust, fogs and clouds. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh* **30**, 337-368.

Alfaro S. C., Gaudichet A., Gomes L., Maille M. (1998) *Mineral aerosol production by wind erosion: Aerosol particle sizes and binding energies*. Geophysical Research Letters **25**, 991-994.

Andreae M. O., Crutzen P. J. (1997) *Atmospheric Aerosols: Biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry*. Science **276**, 1052-1058

Arimoto R. (2001) *Eolian dust and climate: relationships to sources, tropospheric chemistry, transport and deposition*. Earth-Science Reviews **54**, 29-42.

Ávila A., Queralt I., Alarcón M. (1997) *Mineralogical composition of African dust delivered by red rains over North-Eastern Spain*. Journal of Geophysical Research **102**, 21977-21996.

Brasseur G. P., Orlando J. J., Tindall G.S. (1999) *Atmospheric Chemistry and Global Change*. Oxford University Press Inc.

Caquineau S., Gaudichet A., Gomes L., Magonthier M. C., Chatenet B. (1998) *Saharan Dust : Clay ratio as a tracer to assess the origin of soil delivered aerosols*. Geophysical Research Letters **25**, 983-986.

Chuang C. C., Penner J. E., Taylor K. E., Grossman A. S., Walton J. J. (1997) *An assessment of the radiative effects of anthropogenic sulphate*. Journal of Geophysical Research **102**, 3761-3778.

Dockery D. W., Pope C. A., Xu X., Spengler J. D., Ware J. H., Fay M., Ferris B. G., Speizer F. E. (1993) *An association between air pollution and mortality in six U.S. cities*. New England Journal of Medicine **329**, 753-1759.

Dockery D. W. Pope C. A. (1996) Epidemiology of acute health effects : Summary of time series studied .En *Particles in our air: concentration and health effects* (ed. Spengler J. D., Wilson R.), pp. 123-147. Harvard University Press.

- Duce R. A. (1995) *Sources and distributions and fluxes of mineral aerosols and their relationship to climate*. En *Aerosol forcing of climate* (ed. Charlons R.J. y Heintzenberg J.), pp. 43-72. John Wiley & Sons.
- EC (2003) *Second Position Paper on Particulate Matter*. European Commission.
- EPA (1996) *Air Quality Criteria for Particulate Matter*. EPA. Vol.1.
- Glaccum R. A., Prospero J. M. (1980) *Saharan aerosols over the tropical North-Atlantic mineralogy*. *Marine Geology* **37**, 295-321.
- IPPC (1996) *Climate change*. The science of climate change. Meira Filho L.G. Houghton J. T., Callander B. A., Harris N., Kattenberg A., Maskell K. (Eds.). Cambridge University Press, pp. 584.
- Kim E., Hopke P. K. 82003) *Source identification of Washington DC aerosol using temperature resolved carbon fractions in positive matrix factorization*. Proceedings de la European Aerosol Conference (EAC 2003), 911-913, Madrid.
- Marticorena B., Bergametti G., Aumont B. (1997) *Modelling the atmospheric dust cycle 2. Simulation of Saharan dust sources*. *Journal of Geophysical research* **102**, 4387-4404.
- Mészáros E. (1993) *Global and Regional Changes in Atmospheric Composition*. Lewis Publications, Boca Raton
- Mészáros E. (1999) *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry* . Akadémiai Kiado.
- Pópsfai M., Molnár A. (2000) *Aerosol particles in the troposphere : a mineralogical introduction*. Environment Mineralogy. David J. Vaughan & Roy A. Wogelius. pp. 434.
- Prospero J.M. (1999) *Long range transport of mineral dust in the global atmosphere: impact of African dust on the environment of the south-eastern United States*. *Proceedings of the national Academy of Science USA* **96**, 3396-3403.
- Prospero J. M., Ginoux P., Torres O., Nicholson S. (2002) *Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust derived from the NIMBUS7 TOMS absorbing aerosol product*. *Reviews of Geophysics* **40**(1), 2-1:2-27.
- Querol X., Alastruey A., Rodríguez S., Plana F., Ruiz C. R., Cots N., Massagué G., Puig O. (2001) *PM10 y PM2.5 source apportionment in the Barcelona Metropolitan Area, Catalonia, Spain*. *Atmospheric Environment* **35** (36), 6407-6419.

Schütz L., Sebert M. (1987) *Mineral aerosols and source identification*. Journal of Aerosol Science **18**, 1-10.

Schwart J. (1994) *What are people dying of on high air pollution days?* Environmental Research **64**, 26-35.

Schwart J., Dockery D. W., Neas L. M. (1996) *Is daily mortality associated specifically with fine particles?* Journal of Air and Waste Management Association **46**, 927-939.

Seinfeld J. H., Pandis S. N. (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics :From air pollution to climate change*. John Wiley & Sons, Inc., pp 1323.

Sloane C. S., Watson J., Chow J., Pritchett L., Richards L. W. (1991) *Size-segregated fine particle measurements by chemical species and their impact on visibility impairment in Denver*. Atmospheric Environment **25** (Part A), 1013-1024.

Smith I. M., Sloos L. L. (1998) *PM10/PM2.5 emissions and effects*. IEA Coal Research

Viana M., Querol X., Alastuey A., Gangoiti G. and Menédez M. (2003) *PM levels in the Basque Country (Northern Spain): analysis of a 5 year data record and interpretation of seasonal variations*. Atmospheric Environment **37**, 2879-2891.

Warneck P. (1988) *Chemistry of the natural atmosphere*. International Geophysics Series. Willey & Sons. Vol. 41. Academy Press, pp.757.

Watson J. G., Zhu T., Chow J. C., Engelbrecht J., Fujita E. M., Wilson W. E. (2002) *Receptor modelling application framework for particle source attribution*. Chemosphere **49**, 1093-1136.