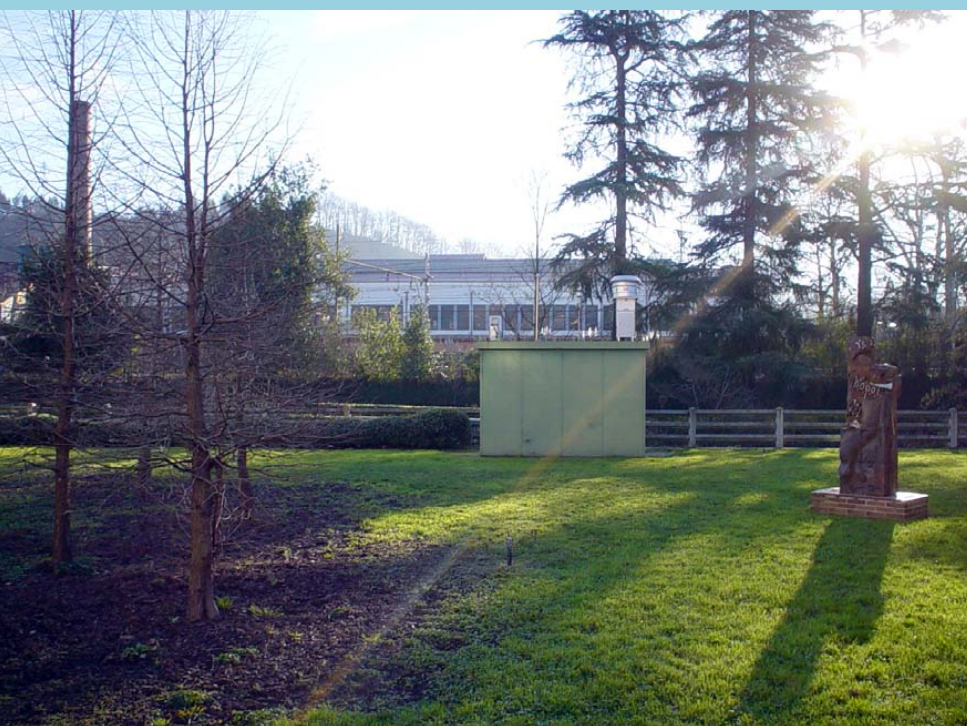


ESTUDIO DE LOS NIVELES DE PM10 Y PM2.5 EN UN ÁREA URBANA CON INFLUENCIA INDUSTRIAL SIDEROMETALÚRGICA (BEASAIN, GUIPÚZCOA)



aireaAIRE

2003-2004



EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

INGURUMEN ETA LURRALDE
ANTOLAMENDU SAILA

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE
Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

 **ingurumena.net**

Documento:	ESTUDIO DE LOS NIVELES DE PM10 Y PM2.5 EN UN ÁREA URBANA CON INFLUENCIA INDUSTRIAL SIDEROMETALÚRGICA (BEASAIN, GUIPÚZCOA)
Fecha de edición:	2006
Autor:	Inza Agirre, Ainhoa, Sánchez Lorda, Maria Eugenia, Menéndez Martínez, Marina, Ortega Cuesta, Luis Ángel, Gil Ibarguchi, José Ignacio Servicio de Geocronología y Geoquímica Isotópica. Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad del País Vasco (UPV/EHU)
Portada:	Foto de la estación de Beasain perteneciente a la Red de Control de la Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma 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. 6
III.	Localización, metodología y características del área de estudio	p. 19
IV.	Estudio gravimétrico del material particulado atmosférico: intercomparación de equipos.	p. 46
V.	Estudio de las series temporales: relación PM10-contaminantes.	p. 61
VI.	Estudio de las series temporales: intrusiones partículas.	p. 74

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

I.a. Consideraciones preliminares

Numerosos estudios epidemiológicos realizados a partir de la década de 1990 (Dockery et al., 1993; Dockery y Pope, 1996; Hoek et al., 2002; Pope et al., 2002) han demostrado 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 (cf. información y enlaces en la dirección <http://www.epa.gov/air/particles/actions.html>) 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 autores diversos han demostrado la influencia del MPA sobre el balance radiativo global al producir un efecto de refuerzo, tanto positivo como negativo, en función de la naturaleza de la 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 diferentes grupos de trabajo sobre este tema han puesto de manifiesto la necesidad de llevar a cabo un control de la contaminación atmosférica producida por el material particulado. Para ello, los diferentes Gobiernos están desarrollando desde hace unos años la legislación pertinente, siendo el primer paso en este sentido la normativa 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, la cual 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 y es la que se encuentra vigente en estos momentos.

La citada normativa tiene como objeto, además de establecer los valores límite de la cantidad de material particulado, el de fijar los umbrales para los contenidos de plomo, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno 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.b. Objetivos

La realización de un estudio sistemático como el que nos ocupa tiene un objetivo general y una serie de objetivos parciales o puntuales. El objetivo general es el de evaluar la situación de la Comunidad Autónoma del País Vasco en relación con la Directiva 1999/30/CE y el correspondiente Real Decreto 1073/2002 (véase Capítulo II) referidos a las partículas en suspensión y Pb en el aire ambiente, así como sus necesidades frente a futuras revisiones de niveles límite o nuevas Directivas (p.e., PM2.5 o PM1 en lugar de PM10). Estudios previos similares realizados en la Comunidad Autónoma han evidenciado que estaciones consideradas inicialmente de fondo urbano (p.e., Llodio) presentan valores altos en determinados metales pesados. El hecho de que en el País Vasco, y más concretamente en las provincias de Guipúzcoa y Vizcaya, se concentre aproximadamente el 50 % de las acerías y el 50 % de las fundiciones de toda España, hace que se trate del lugar idóneo para evaluar en qué manera las industrias siderometalúrgicas afectan, en general, a la composición químico-mineralógica del material particulado atmosférico y, en particular, a las concentraciones de determinados metales pesados (plomo, níquel, cromo, etc.).

En este contexto, el presente estudio se ha centrado en la realización de un análisis de la contribución de fuentes de emisión sobre los niveles de

PM10 (material particulado en suspensión inferior a 10 micras) en una zona urbana con influencia esporádica de las emisiones industriales de las industrias siderometalúrgicas adyacentes. La estación de muestreo seleccionada, ubicada en las proximidades de la Plaza Gipuzkoa de Beasain, está instrumentada para el control de la calidad del aire y pertenece a la Red Control de la Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Se ha intentado obtener una estimación de las contribuciones locales urbanas, industriales, así como del aerosol marino y de la resuspensión de partículas naturales (tanto locales como de aporte externo). Esto debería permitir 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 si se conoce este balance será posible el control del impacto ambiental de las emisiones locales.

El estudio realizado en Beasain se ha dividido en varias fases. Inicialmente se realizó un estudio comparativo preliminar de los niveles de PM10 registrados en las estaciones de Basauri y Beasain, ambas de tipo urbano y con influencia industrial siderometalúrgica, durante el año 2002. Dicho estudio tenía por objetivo primordial estimar del modo más preciso posible la situación previa en ambas localidades y, eventualmente, dar prioridad a la realización de un estudio de detalle en una u otra localidad. Como conclusión a dicho estudio preliminar se decidió iniciar un estudio de detalle (PM10 y PM2.5) en Basauri que, al poco tiempo, fue seguido por el inicio de un estudio similar (aunque incluyendo únicamente el muestreo de PM10) en la localidad de Beasain

El estudio propiamente dicho comprendió la obtención de series temporales sincrónicas de niveles de PM10 mediante muestreo periódico con un captador de alto volumen Andersen.

Ante la posibilidad de que la actividad de las empresas del entorno relacionadas fundamentalmente con la actividad metalúrgica (de entre las que destaca CAF, ubicada, en parte, en el vecino municipio de Lazkao pero próxima a la estación de muestreo) tuviesen alguna relación con las superaciones, se diseñó una estrategia de muestreo de acuerdo con los responsables de la Administración que permitiese el estudio de los niveles y la composición del material particulado atmosférico en el entorno de la estación

de Beasain perteneciente a la Red de Control de la Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

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, asimismo, retrotrayectorias para cada día mediante el modelo Hysplit, tomando como área receptora Beasain. 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.

En una segunda fase se ha procedido a la caracterización química de las partículas en suspensión (PM10), 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, permiten detectar en una primera etapa, las fuentes principales de emisión con impacto en los niveles de PM10.

Con todo ello, los objetivos concretos del estudio pueden resumirse del siguiente modo:

- *Lograr un mejor conocimiento de la situación en el entorno de la localidad de Beasain en relación con los niveles límite establecidos por la normativa vigente para el material particulado atmosférico, esto es, los niveles de PM10 y la cantidad de plomo en el aire.*
- *Aportar datos sobre las características y, en la medida de lo posible, sobre el origen de las superaciones de dichos niveles registrados en la estación de vigilancia y control de la calidad del aire de dicha localidad.*

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

I.c. Estructura del Informe

Los resultados que ahora se presentan corresponden al estudio de los filtros muestreados a lo largo de los meses de Julio de 2003 a Julio de 2004 en la estación de Beasain, así como del tratamiento de los datos de contaminantes para el mismo período procedentes de los equipos instalados en la estación de dicha localidad.

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 este estudio para, a continuación, detallar la metodología empleada, tanto para el muestreo como en los análisis de las muestras recogidas.

En las secciones subsecuentes: (i) se exponen los resultados gravimétricos obtenidos y se efectúa una comparación de los datos gravimétricos con los datos del captador automático de la misma estación; (ii) se analizan los datos meteorológicos y de contaminación disponibles para las fechas del estudio; (iii) se presentan los resultados de los análisis químicos correspondientes a cada una de las muestras estudiadas, y (iv) se realiza un análisis de los componentes principales en relación con las posibles fuentes y causas de las superaciones. Con todo ello se extraen las conclusiones expuestas en el último Capítulo del presente informe.

II. MARCO NORMATIVO

Hasta Julio de 2001, en España el control del material particulado atmosférico se realizaba mediante las medidas de los denominados 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 el caso de España, la nueva legislación conlleva un cambio en el parámetro a medir, que pasa 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 N° 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 tanto en lo que se refiere a las emisiones de partículas 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). De hecho, y dado que los estudios epidemiológicos más recientes 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 controlar la fracción 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; cf. <http://www.epa.gov/air/particles/actions.html> para más información).

Tal como 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, en concreto de las emisiones de tipo antropogénico, ya que las partículas en suspensión totales (PST) cuentan con una importante fracción de origen natural la cual se reduce sensiblemente en el caso del PM10. Asimismo, la disminución de los niveles límite anuales y diarios es drástica: de una media de 150 μg PST/ m^3 anuales y 300 μg PST/ m^3 diarios en 2001, se pasa a 40 μg PM10/ m^3 anuales en 2005 y a 20 μg PM10/ m^3 anuales en 2010, con un valor límite diario de 50 μg PM10/ 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 diarios y anuales 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 aquellos periodos en que se estuviese 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, únicamente 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 existencia 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 presente 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 µg/m³, 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 los años 2003 y 2004 en que se realizó el muestreo, en unos valores límite de 0,7 y 0,6 µg/m³ de Pb, respectivamente.

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, tanto de origen natural como antropogénico. Respecto a los mecanismos de formación, las partículas pueden ser emitidas como tales a la atmósfera, denominándose **partículas primarias**, o bien ser generadas por medio de reacciones químicas, esto es, ser **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 características 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, pueden generar efectos tanto en el clima, como en los ecosistemas

o 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 lo que se conoce como 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 una 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 cuyos diámetros son 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 máxicas 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, así como 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 están constituidas 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, $\text{K}(\text{Al,Mg})_3\text{SiAl}_2(\text{OH})_2$], feldespatos [KAlSi_3O_8 y $(\text{Na,Ca})(\text{AlSi})_4\text{O}_8$] 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 sea de origen natural, es conveniente tener en cuenta la posible existencia de un cierto número 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.

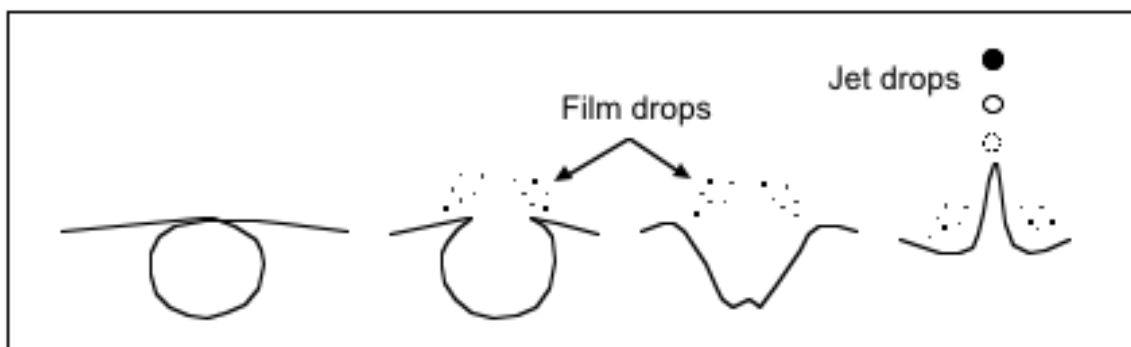


Figura II.1. Formación de partículas de aerosol marino por ruptura de burbujas de aire en la superficie de mares y océanos (según Warneck, 1988). El diámetro de las Jet drops oscila entre 2-4 μm , mientras que las Film drops son de diámetro $< 1 \mu\text{m}$.

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 los 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 nitrados 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), así como 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, NO₂, N₂O y NH₃, cuya oxidación en la atmósfera tiene como resultado más frecuente la formación de ácido nítrico (HNO₃) (Warneck, 1988; Mészáros, 1999) y amonio (NH₄⁺).

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 CaCO₃ y MgCO₃) 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.

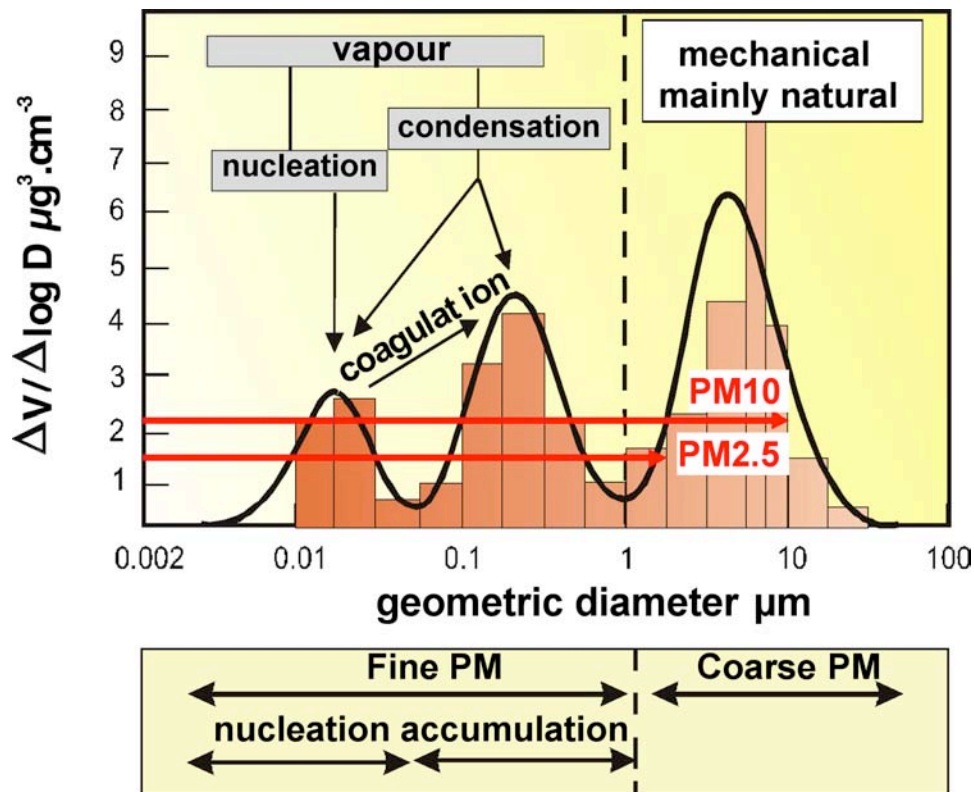


Figura II.2. Distribución idealizada de masa de partículas en función de su tamaño (Wilson y Suh, 1997).

Las partículas gruesas ($> 2,5 \mu m$) son básicamente primarias y se generan por procesos mecánicos y de evaporación. Los procesos mecánicos de reducción de tamaño encuentran su límite inferior en $1 \mu m$, por lo que no afectan a partículas inferiores a este tamaño. En este rango las fuentes más importantes son: (i) los aportes minerales crustales, ya sean locales o transportados a larga distancia, (ii) el aerosol marino, (iii) las partículas biológicas (restos vegetales), y (iv) las partículas primarias derivadas de los 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 $2,5 \mu m$, hay que destacar a los nitratos, cuya distribución granulométrica se extiende desde $1,0$ hasta $10 \mu m$, 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 PM_{10} . 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 en aquel momento de la Unión Europea, la contribución de siete de los principales sectores generadores de emisiones a los niveles de PM_{10} 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 PM_{10} 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 del 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 “otros” 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 %).

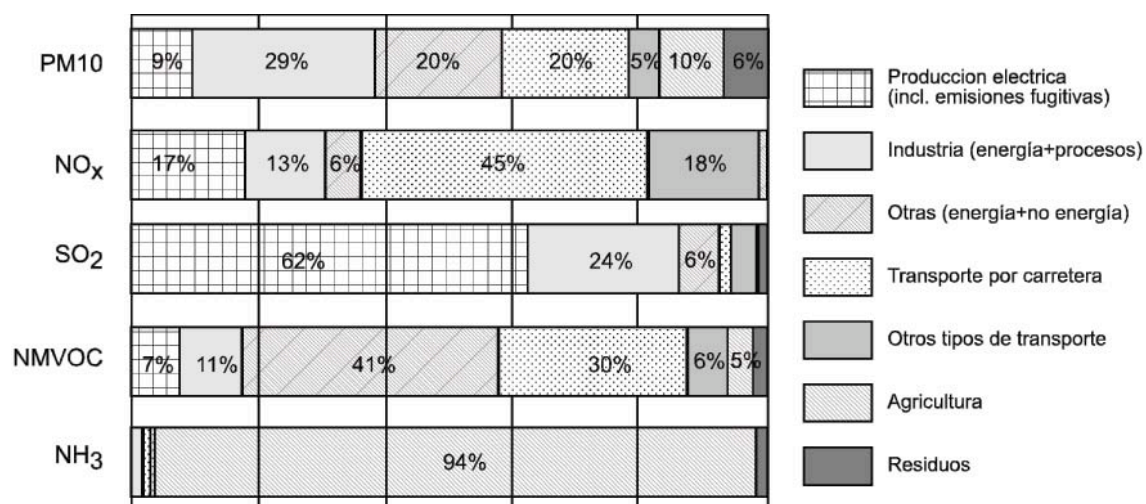


Figura II.3. Contribución media para los 15 Estados Miembros a los niveles de **PM10** y precursores gaseosos (EC, 2003). NMVOC: compuestos orgánicos volátiles no metánicos.

III. LOCALIZACIÓN, CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO, ANTECEDENTES Y METODOLOGÍA UTILIZADA

III.a. Localización de la zona de estudio

El municipio de Beasain se ubica en el interior de la provincia de Guipúzcoa, a unos 40 km en línea recta del mar Cantábrico y en la terminación occidental de los Pirineos, dentro de la estructura geológica conocida como sinclinal de Vizcaya (localizado entre Beasain y Punta Galea).



Figura III.1. Localización geográfica de la población de Beasain y su entorno.

El núcleo de la villa se encuentra situado en la parte más baja del término municipal a 159,2 m sobre el nivel del mar. La población está rodeada de montes con alturas que oscilan entre los 500 y 800 m, siendo los más importantes los de Murumendi, Usurbe, Pagokabar, Zormendi, Mallutz, Urresparatz, Mutxiki, Portamosegi, Txoritegi, Atxabal, Ekuneta y Zarate (**Figura III.1**).

Beasain tiene una superficie de 29,9 km² y se sitúa en las coordenadas de latitud 43° 03' N y longitud 1° 29' E. La red hidrográfica del municipio está constituida por diversos ríos y riachuelos, siendo el principal el río Oria. A lo largo de su recorrido por el municipio de Beasain, el río Oria va recibiendo las aguas de varios ríos menores y regatas, uno de ellos el Agauntza muy cerca de

la ubicación de la cabina utilizada en este estudio, tras servir como límite con el vecino municipio de Lazkao durante una parte de su recorrido.

El término municipal de Beasain limita al norte con Beizama y Azpeitia; al Sur con Lazkao, Olaberria e Idiazabal; al Este con Oridizia, Itsasondo y Bidegoian y al Oeste con Ormaiztegi y Ezkio-Itxaso. El municipio se distribuye entre en seis núcleos de población principales: el casco de la villa que absorbe la gran mayoría de habitantes, los barrios de Arrairan, Astigarreta y Gudugarreta, y las anteiglesias de Matximbenta y Garin.

Su peculiar situación geográfica a lo largo del valle del río Oria ha determinado que Beasain desempeñe un importante papel en las comunicaciones a través de Guipúzcoa a lo largo de la Historia. Debido, además, a la importancia industrial de la localidad, son muy importantes las comunicaciones con el resto de provincias vascas y de otras comunidades. Puede accederse a la localidad por la línea férrea Madrid-Irún-París o, por Carretera, a través de la N-1 Madrid-Irún, así como por las GI-632 Beasain-Durango y GI-131 Beasain-Etxarri Aranaz.

Es indudable que la historia económica de Beasain camina junto a la del aprovechamiento del hierro como materia prima. La transformación del mineral de hierro tiene una tradición notable en Beasain ya desde la Edad Media. Sin embargo, el motor principal de los cambios en Beasain tuvo lugar con el desarrollo de la industria de transformación del hierro o sidero-metalúrgica a favor de los incentivos ejercidos por el tendido de la red ferroviaria en el Siglo XIX. Así, y gracias a los avances tecnológicos y la necesidad de adaptarse a un nuevo mercado, se fundó en Beasain la primera siderurgia moderna de la provincia en 1862. Esta primera factoría tenía una clara vocación siderúrgica, ya que, mediante la instalación de altos hornos de carbón vegetal, pretendía, a través del sistema indirecto de fundido, la obtención de hierro dulce, más maleable, a partir de hierro colado. Esta iniciativa llevará con el tiempo al desarrollo de las empresas que mejor caracterizarán el perfil industrial de este municipio ya en el siglo XX. Esto es, la gran empresa Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles (CAF), y el conjunto de industrias menores relacionadas con una producción más ligera de bienes de equipo.

Poco a poco, y principalmente a partir de la expansión del ferrocarril dentro y fuera de España, se fue creando un modelo de crecimiento económico y dinamización de la vida social en Beasain y su comarca, el Goierri

guipuzcoano, que se plasmaría en casi todos los aspectos de la vida de la localidad.

Las emisiones atmosféricas industriales que cabe esperar en la zona son, por tanto, las características de las industrias siderometalúrgicas, es decir: NO, CO, material particulado y metales.

III.b. Climatología y dinámica atmosférica del área de estudio

La dinámica atmosférica del País Vasco, así como 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, dando lugar a situaciones advectivas predominantemente del NW y, en menor medida, NE. 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 a las borrascas atlánticas. Durante el verano, el anticiclón asciende a latitudes mayores abarcando bajo su influencia el Norte y la mitad Occidental de la Península. Como resultado de estas variaciones en invierno se dan escenarios meteorológicos para una mejor ventilación del País Vasco mediante el sucesivo paso de frentes y borrascas.

Además, la costa Cantábrica recortada y abrupta, el mar y la curvatura cóncava del Golfo de Vizcaya favorecen la ciclogénesis de tal forma que hay borrascas que se forman en ella o bien, si llegan formadas, incluso se refuerzan en ella siendo frecuente la intensificación de las ondas de depresión formando pequeños núcleos borrascosos (Millán et al., 1989). Estas borrascas y frentes impiden la acumulación de partículas en suspensión (debido a la deposición húmeda y a la entrada de aire oceánico limpio).

En verano, la influencia del anticiclón al 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. En cualquier caso, la frecuencia y desarrollo de circulaciones de brisa

suele ser bastante menor que en el caso de las costas mediterráneas, aunque sí pueden ser activas en los valles mayores como el que nos ocupa.

En presencia de un centro de altas presiones al Norte (como el anticiclón escandinavo o británico) se puede registrar un transporte neto de masas aéreas contaminadas procedentes del Norte, Centro y Este de Europa que, al ir desplazándose a lo largo de la costa, pueden interaccionar con las circulaciones locales (Millán et al., 1989). Asimismo, la influencia de estos centros de altas presiones puede favorecer la aparición de episodios de contaminación local por efecto de un bloqueo anticiclónico (Gangoiti et al., 2002).

Otro aspecto a destacar en el escenario geográfico contemplado son los valles y las montañas, los cuales también generan una circulación térmica con "un ciclo diurno". Las montañas, colinas, valles (e incluso las diferentes alturas de edificios de una gran ciudad), disminuyen la velocidad de los vientos, aminorando el movimiento horizontal del aire. Este hecho determina que la dispersión de contaminantes pase a depender del movimiento vertical del aire.

Además en el periodo comprendido entre la primera mitad de otoño y la primera mitad de invierno el anticiclón de núcleo cálido va migrando desde las Azores, se instala sobre el Golfo de Vizcaya y continua su migración hacia centroeuropa. Durante este proceso, que puede durar varios días, se registran inversiones térmicas que, combinadas a su vez con otros factores locales, como irregularidades del terreno (colinas, valles, edificios) y vientos locales, afectan a la dispersión de contaminantes que pueden quedar estancados tras la rotura de la capa de inversión.

Por último, las condiciones de viento Sur suelen estar ligadas a profundas borrascas Atlánticas situadas a bajas latitudes, pudiendo transportar aire del Norte de África hasta la zona considerada en el estudio favorecido por la vía de acceso a través de la cuenca del Ebro.

Todas estas peculiaridades pueden repercutir de manera notable en la calidad del aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco y, en consecuencia, en la de la zona objeto del presente estudio. En los próximos capítulos se expondrán los casos más significativos de influencia de factores meteorológicos sobre los niveles de PM10 registrados en la estación de Beasain.

III.c. Antecedentes

Variación estacional de la concentración de partículas y contaminantes gaseosos registrados en Beasain durante el año 2001

Los niveles medios anuales de partículas y contaminantes gaseosos registrados en la estación de Beasain a lo largo del año 2001 fueron los siguientes:

- 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 , con valores medios que oscilaron entre los 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados para el mes de Agosto y los 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del mes de Octubre (Tabla III.1). La Directiva 1999/30/CE establece que a partir del 1 de enero de 2010 el valor límite anual de NO_2 para la protección de la salud humana será de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Beasain habría estado, por tanto, rozando este límite en el 2001.
- 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO , con valores más variables que abarcan los 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados en los meses de mayo o julio y los 86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del mes de Diciembre. Diciembre fue un mes atípico durante el 2001 con unas condiciones atmosféricas dominadas por un anticiclón de estancamiento y unos valores muy bajos de precipitación que impidieron la limpieza de los contaminantes.
- 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} como valor medio anual, con valores que oscilaron entre los 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} para los meses de Abril o Agosto y los 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} registrados el mes de Diciembre de 2001. La Directiva 1999/30/CE establece dos fases en cuanto a los niveles de partículas: a partir del 1 de enero de 2005 el valor límite anual será de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , y a partir del 1 de enero de 2010 será de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} . Es decir, Beasain sólo estaría dentro de los límites legales durante la primera fase.

Tabla III.1. Niveles medios de PM10 y contaminantes gaseosos medidos para la estación de Beasain durante el año 2001 (datos suministrados por el Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco)

	NO ₂ (µg/m ³)	NO (µg/m ³)	PM10 (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
ENERO	36	28		6
FEBRERO	38	33		7
MARZO	38	25	25	7
ABRIL	36	20	24	7
MAYO	42	19	35	7
JUNIO	38	34	33	7
JULIO	27	19	26	5
AGOSTO	26	20	24	4
SEPTIEMBRE	36	40	27	6
OCTUBRE	49	61	34	6
NOVIEMBRE	41	63	35	8
DICIEMBRE	47	86	51	9
ANUAL	38	37	31	7

La variación estacional de los niveles de partículas registrados en la estación de Beasain para el año 2001 puede observarse en la **Figura III.2**. Se incluye, asimismo, la variación estacional de la precipitación. Puede observarse que existe una relación inversa muy marcada entre la concentración de partículas y la precipitación, de modo que el mes con niveles más altos de partículas corresponde al mes de Diciembre, mes en que se registró la menor precipitación del año. Durante el mes de Diciembre de 2001 se registró en el País Vasco una situación de bloqueo anticiclónico, que impidió la llegada de borrascas que limpiaran la zona y, en cambio, favoreció la entrada de masas envejecidas de contaminantes procedentes de Europa con lo que se registraron concentraciones muy elevadas de partículas en todas las estaciones del País Vasco, incluidas las de fondo regional que se localizan en parques naturales.

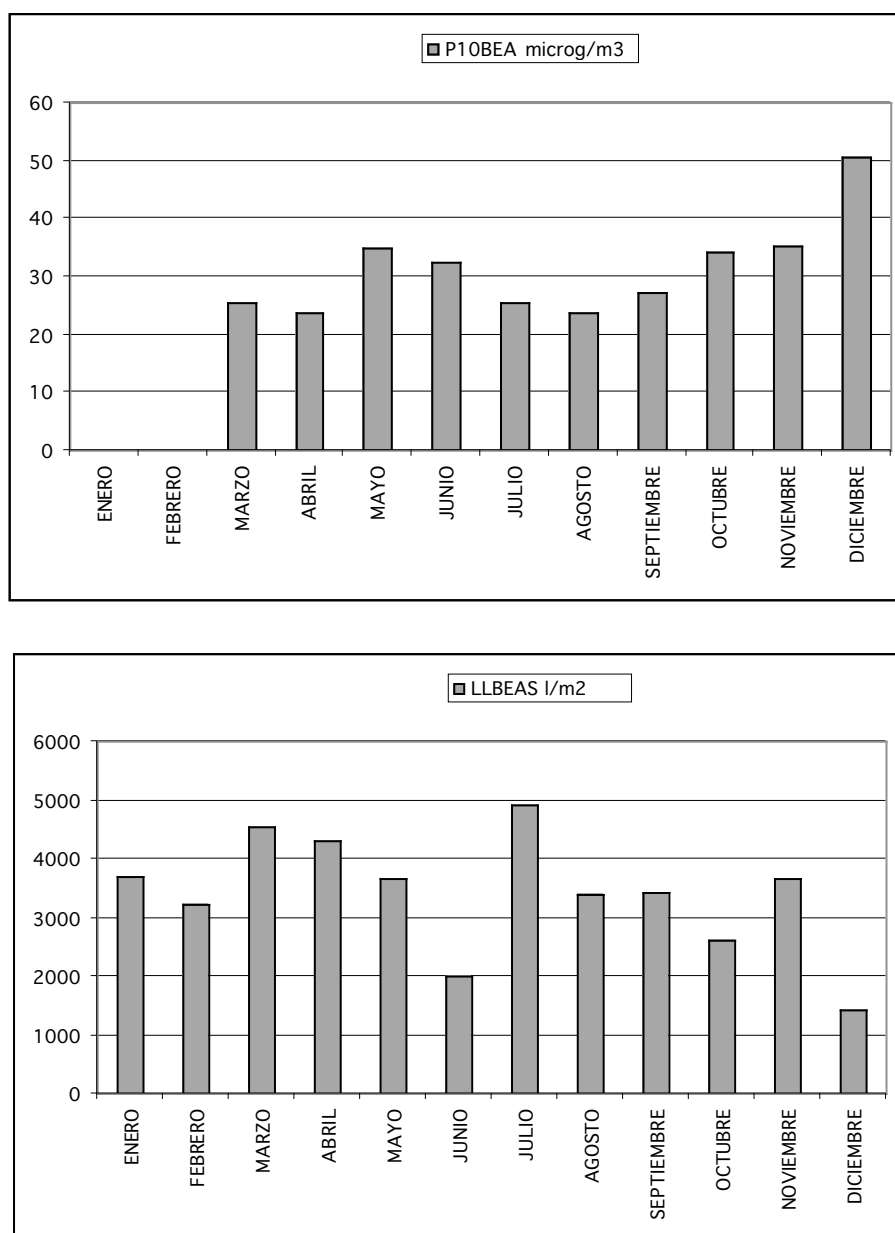


Figura III.2. Variación estacional de los niveles de PM10 registrados en la estación de Beasain durante el año 2001. Precipitación mensual registrada en la estación de Beasain durante el año 2001 (datos de la Red de Control de la Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco).

Las concentraciones más bajas de partículas se registraron en la estación de Beasain los meses de Marzo-Abril y Julio-Agosto, coincidiendo en los tres primeros casos con los valores más altos de precipitación. En el caso del mes de Agosto, la disminución de la actividad industrial y/o del tráfico pesado también habrían contribuido probablemente a las bajas concentraciones de partículas registradas.

Además es necesario tener en cuenta los aportes de partículas naturales desde áreas remotas. Durante el año 2001 se pudieron constatar diversos aportes de polvo procedentes de los desiertos del Sahara o del Sahel los cuales contribuyeron significativamente a los niveles de partículas registrados en todas las estaciones del País Vasco. Estos episodios fueron especialmente intensos en primavera durante los meses de Abril y Mayo, y en verano durante el mes de Julio. Si observamos la **Figura III.2** podemos comprobar como estos tres meses son los de mayores concentraciones de partículas, lo cual evidencia la importancia de estos transportes a larga distancia en los niveles de PM10 medidos en la Comunidad Autónoma.

Patrones diarios y estacionales

El estudio de las variaciones diarias de los niveles de PM10 y contaminantes gaseosos registrados en la estación de Beasain durante 2001 permite establecer diferencias entre los escenarios de invierno y verano, así como identificar la influencia de procesos mesoescalares como las brisas durante el periodo estival.

Estas diferencias observadas entre los periodos de invierno y verano también tiene reflejo en las series temporales, desgraciadamente se carece de datos de partículas para los meses de enero y febrero de 2001. En cualquier caso podemos observar cómo a lo largo de todo el año se registran dos picos de partículas: uno por la mañana en torno a las 9 horas (hora solar) y otro por la tarde en torno a las 19 horas (**Figura III.3**). El primero de los picos coincidiría con el pico del tráfico de la mañana y el inicio de la actividad industrial local. En efecto, podemos comprobar cómo en todos los casos este pico de PM10 coincide para todos los meses con el máximo diario de NO, valores elevados de NO₂ y una disminución del valor del O₃ propiciada por la reacción con los otros contaminantes.

Sin embargo, para el segundo de los picos de PM10 existe una clara diferencia entre los meses de invierno y verano. Así, en invierno el pico de la tarde coincide igualmente con valores elevados de NO, NO₂ y una disminución de los valores de O₃, indicando de nuevo fuentes de contaminación locales. Por el contrario durante los meses de verano, los valores elevados de partículas que se registran durante la tarde, valores que durante el mes de

Agosto son incluso más elevados que los de la mañana, están relacionados tan sólo con valores elevados de NO_2 . El NO se mantiene bajo y el O_3 alto, siguiendo su evolución normal con una disminución lenta a medida que disminuye la radiación solar. Es decir, que los valores elevados de partículas que se registraron en la estación de Beasain durante las tardes de verano corresponderían a una masa envejecida que alcanzaría esta localidad siguiendo el curso del río Oria procedente de algún área industrial ubicada al Noroeste.

Los niveles de SO_2 en la estación de Beasain se mantuvieron muy bajos a lo largo de todo el año.

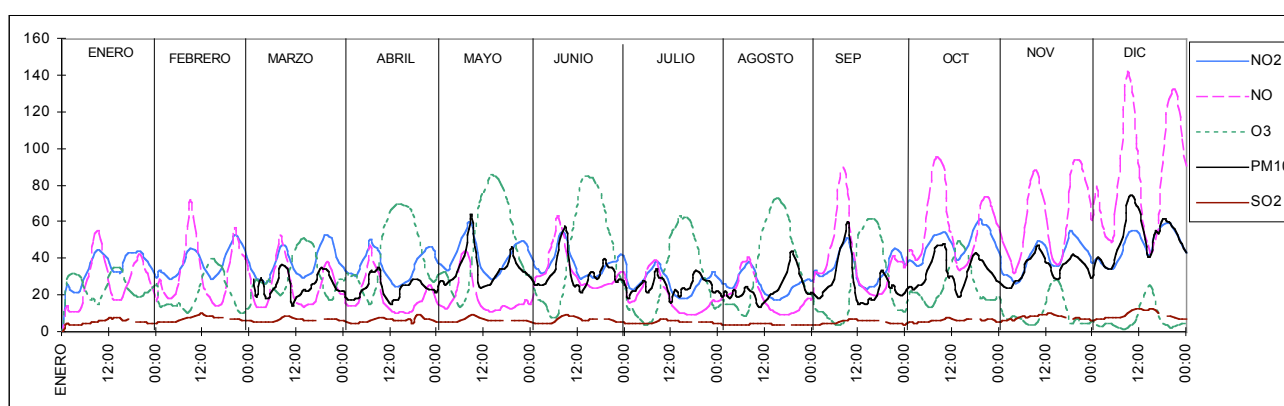


Figura III.3. Medias horarias calculadas mes a mes de los distintos contaminantes medidos en la estación de Beasain durante el año 2001.

En la **Figura III.4** se representan los valores medios horarios de los distintos contaminantes atmosféricos y de la velocidad del viento registrados en la estación de Beasain en función de la dirección de origen del viento para el mes de Marzo de 2001. En primer lugar destaca el hecho de que las mayores velocidades de los vientos se registraron en las direcciones N70 y, sobre todo, N250, direcciones que coinciden con la traza del río Oria a la altura de Beasain. Es decir, al igual que ocurre en otros puntos del País Vasco (e.g. Llodio), en invierno los vientos del Noroeste en altura se canalizan en superficie a través de los valles. Además, tanto en Marzo como durante los meses de Enero y Febrero se registraron en Beasain las velocidades más altas del año pudiendo llegar a alcanzar los 10 m/s.

En cuanto a los contaminantes atmosféricos podemos comprobar cómo los valores más altos de SO_2 provenían de una dirección en torno a N60-N70 desde la estación de Control de la Calidad del Aire de Beasain, pudiendo, tal

vez, localizarse dos pequeños focos en las direcciones N210 y N340. En cualquier caso, y como ya se ha mencionado, se trata de valores muy bajos.

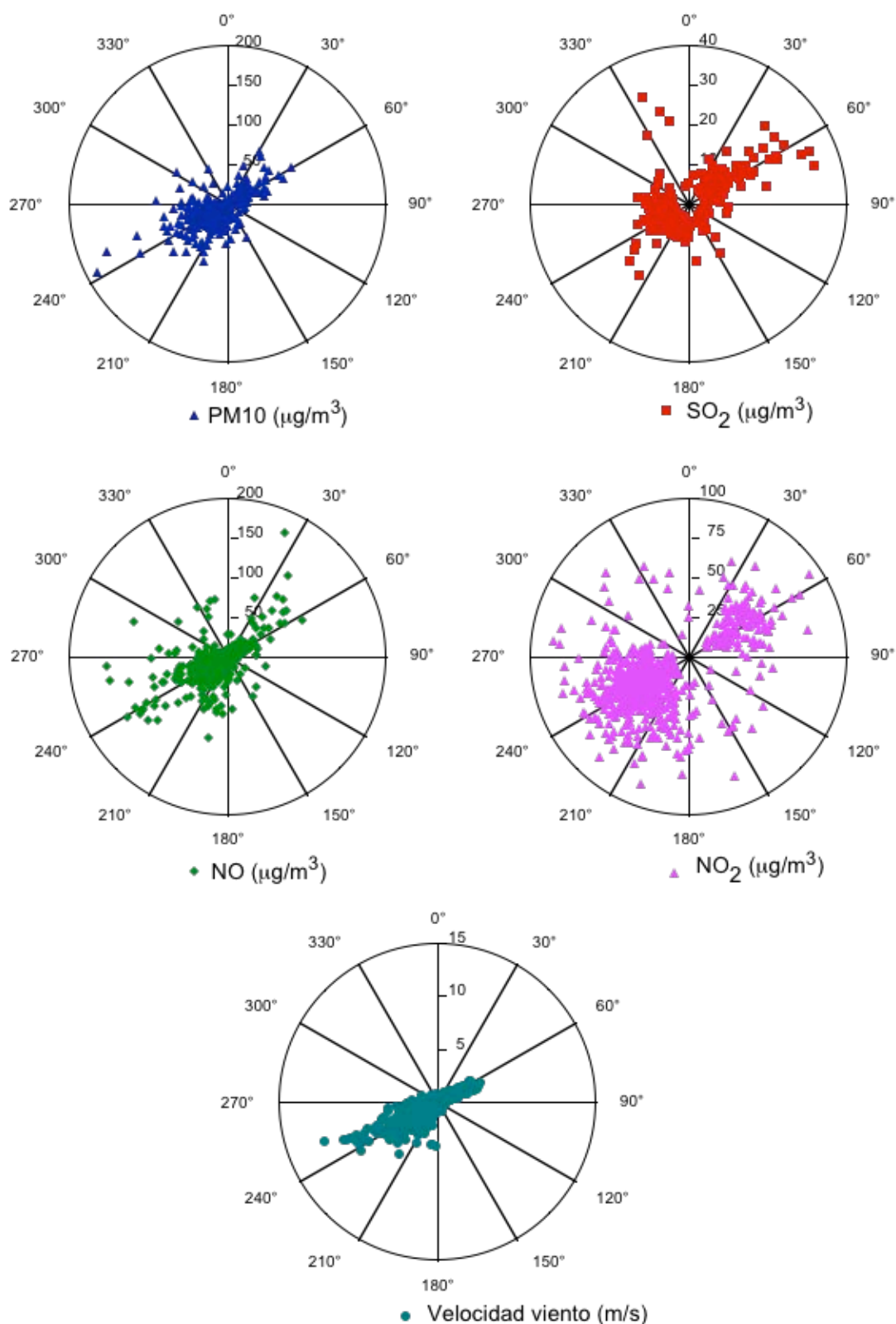


Figura III.4. Rosas de los vientos para las medias horarias de los distintos contaminantes y la velocidad del viento para la estación de Beasain durante Marzo de 2001.

Las concentraciones más altas de partículas también provenían de direcciones que coinciden con la traza del valle: los valores más altos procederían de un foco situado en una dirección N250, habiendo otro foco en una dirección N60.

El NO, si bien es algo más difuso, muestra también estos dos focos principales, mientras que las rosa de los vientos de NO₂, muestra una gran dispersión, seguramente debido a su relación con el tráfico y a alguna carretera próxima a la cabina.

Si observamos estos mismos diagramas para un mes típicamente de verano como es el mes de Agosto (**Figura III.5**), destaca en primer lugar el hecho de que las mayores velocidades de los vientos provengan ahora de la dirección N60, si bien también hay muchos puntos en la dirección N250. Si nos fijamos en las direcciones de los vientos en función de las horas del día podemos comprobar que, entre la 16 y las 23 horas (hora solar), el viento procedía de N60, mientras que por la noche y la mañana el viento procedía de N250. Además las velocidades máximas eran mucho menores no llegando a alcanzar los 6 m/s. Este escenario de desarrollo de brisas en los meses de verano también es típico del País Vasco y está propiciado por el ascenso a mayores latitudes del Anticiclón de las Azores. En invierno, en cambio, las direcciones de los vientos en Beasain se mantuvieron constantes en torno a una dirección aproximada N250 a lo largo de todo el día (**Figura III.6**) debido a la canalización a través de los valles de los vientos dominantes del Noroeste.

La **Figura III.5** permite comprobar también cómo en verano se mantenían las mismas fuentes para el SO₂ que en invierno: dos posibles focos situados en direcciones N50 y N310.

Para las partículas en suspensión y el NO, y debido a la influencia de las brisas, se observan algunas diferencias de modo que las mayores concentraciones se dan cuando el viento procede de la dirección N60 y menores concentraciones en torno a N250, exactamente al contrario de lo que ocurría en invierno.

Por último, el NO₂ tenía un origen igualmente difuso que, de nuevo, habría que relacionar con alguna carretera próxima a la Estación de Control de la Calidad del Aire del Gobierno Vasco en la localidad de Beasain.

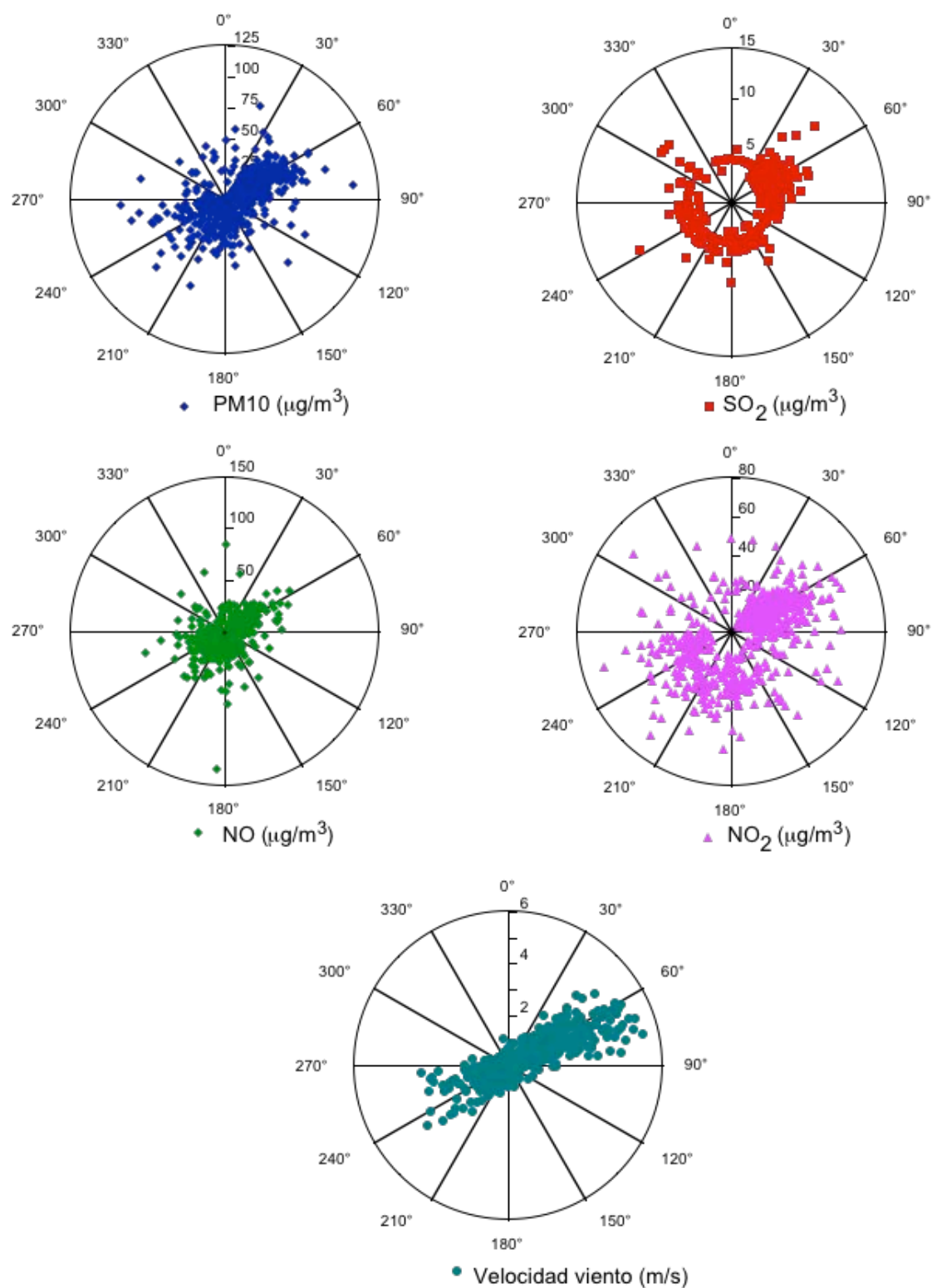


Figura III.5. Rosas de los vientos para las medias horarias de los distintos contaminantes y la velocidad del viento para la estación de Beasain durante Agosto de 2001.

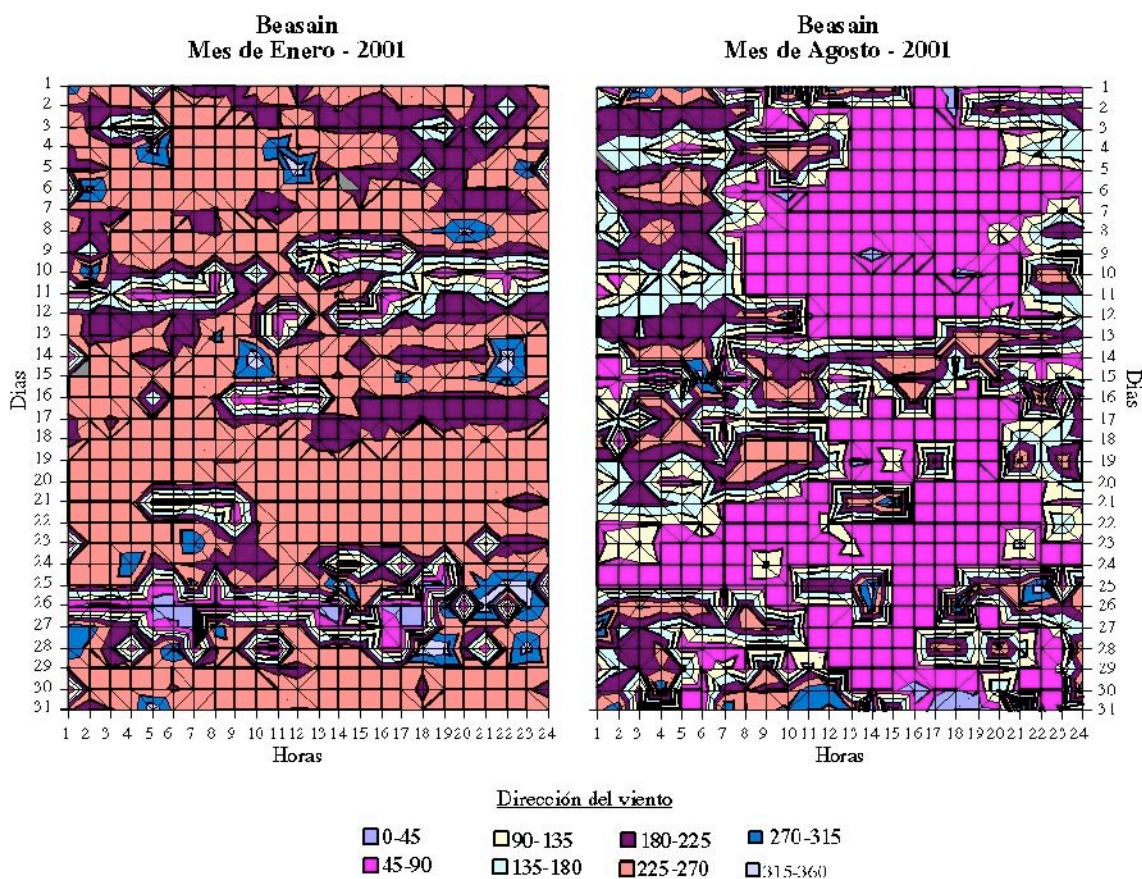


Figura III.6. Medias horarias de dirección del viento registradas en Beasain durante los meses de Enero y Agosto de 2001.

Conclusiones a partir de los datos del 2001

Los datos recopilados en 2001 permitían hacer las siguiente consideraciones :

- A la vista de las diferencia estacionales observadas, a fin de establecer la contribución de fuentes sería conveniente realizar el estudio tanto en invierno como en verano.
- Durante los meses de verano, las masas de contaminantes envejecidas pueden alcanzar la estación de Beasain transportadas por las brisas, contribuyendo a aumentar los niveles de partículas.
- Durante los meses de invierno, las principales fuentes de partículas registradas en Beasain, parecen en cambio, de origen local.
- En caso de muestrear durante los meses de Noviembre y Diciembre habría que tener en cuenta que las especiales condiciones meteorológicas (Anticiclón de estancamiento) pueden aumentar los niveles de partículas locales.

Revisión de los datos obtenidos durante el año 2002

Durante el año 2002, en Beasain se registró un valor medio anual de PM₁₀ de 33 µg/m³ (corregido), con un número total de superaciones del valor límite diario (50 µg/m³) de 53 superaciones. Por lo tanto, la estación cumpliría con el valor límite anual de 40 µg/m³ de PM₁₀ establecido por el Real Decreto 1073/2002 para la primera fase (año 2005). Sin embargo, se incumpliría el límite del 2010 (**Figura III.7**).

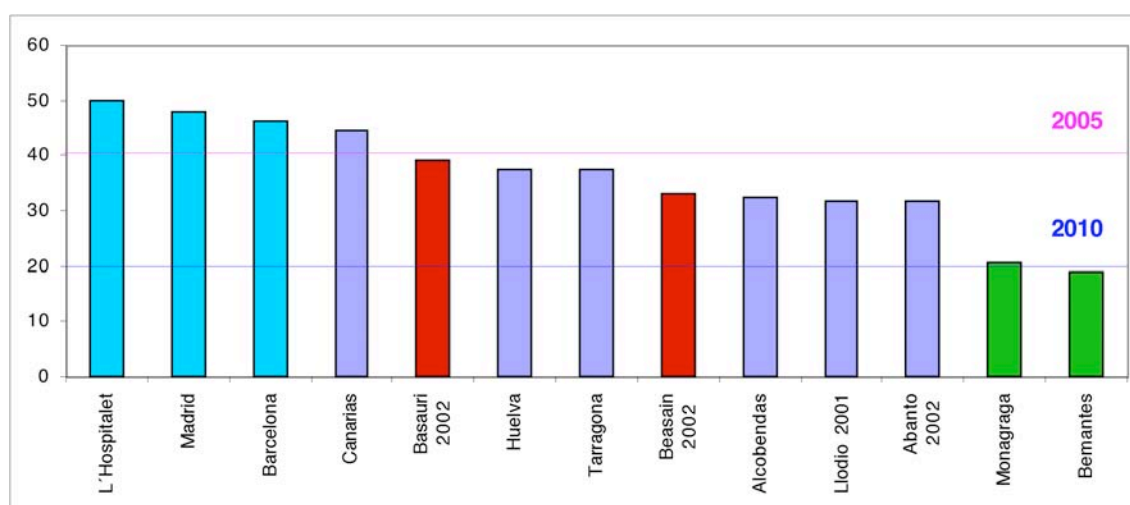


Figura III.7. Niveles medios de PM₁₀ registrados para diferentes estaciones de diversas comunidades autónomas. Los datos de Beasain corresponden a los suministrados por equipos Beta, corregidos de manera que sean equivalentes a los datos de los captadores de alto volumen homologados. El resto de los datos corresponde a medidas gravimétricas de filtros muestreados utilizando captadores de alto volumen (Querol et al., 2002). En azul se representan las estaciones caracterizadas como de TRAFICO y en verde las RURALES. El resto se consideran estaciones de fondo urbano. Se indican además los valores límite que establece el Real Decreto 1073/2002 para el 2005 y para el 2010.

En la **Figura III.7** se representan los valores medios anuales de PM₁₀ para Beasain junto a los de otras estaciones del País Vasco, así como de otras comunidades autónomas. En color violeta se representan las estaciones consideradas de fondo urbano, en verde las estaciones rurales y en azul las estaciones con marcada influencia del tráfico (Querol et al., 2002). Podemos comprobar cómo el valor medio anual para Beasain durante el año 2002 es muy similar al de otras estaciones consideradas de fondo urbano, como es el caso de Llodio, Alcobendas o Abanto (los datos de ésta última también

correspondientes al 2002, el resto del 2001). Los niveles son inferiores a los de las estaciones con marcada influencia de tráfico (L'Hospitalet, Madrid y Barcelona).

El Real Decreto 1073/2002 establece además un número máximo de días al año en los que se pueden superar los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media diaria de PM10: 35 días para la primera fase (2005) y 7 días para la segunda fase (2010). La localidad de Beasain incumpliría por tanto lo establecido para ambas fases. Es muy probable que un número considerable de estas superaciones pudieran deberse a causas naturales, fundamentalmente la advección de masas de aire africanas cargadas de partículas. No obstante, se considera que dicha influencia no parece suficiente como para llegar a cumplir los días de superaciones establecidos para la primera fase.

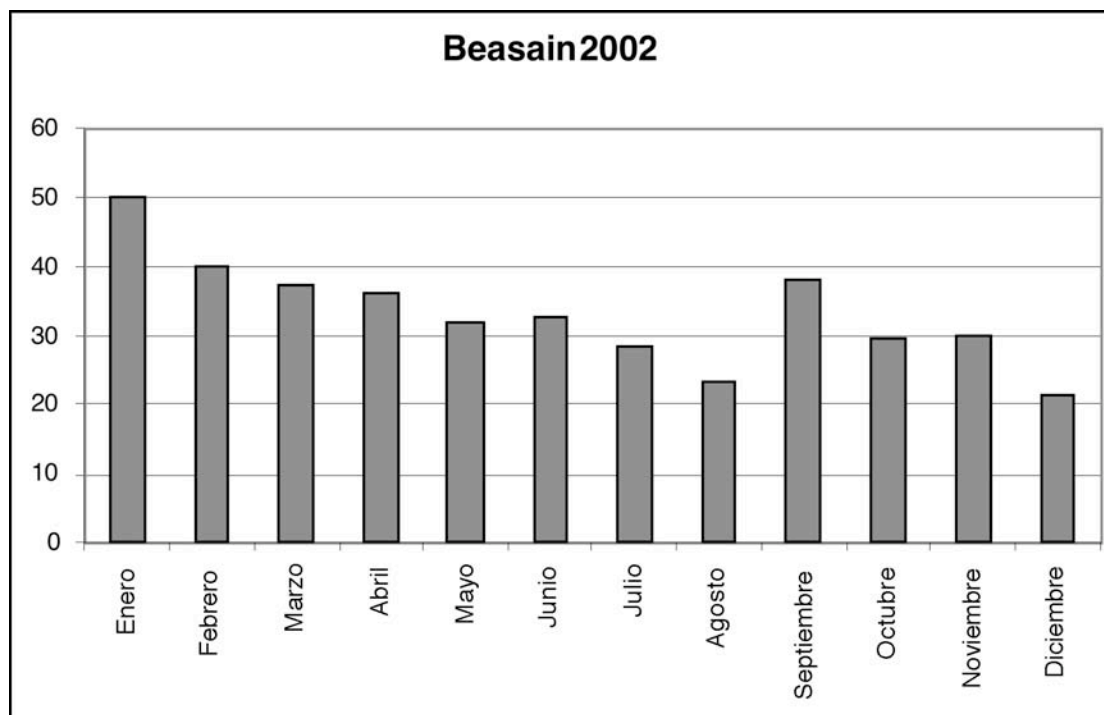


Figura III.8. Niveles medios mensuales de PM10 registrados en la estación de Beasain durante el año 2002.

La **Figura III.8** permiten observar la variación estacional de los niveles de PM10 en la estación de Beasain para el año 2002. Durante ese año, las intrusiones de polvo africano se registraron fundamentalmente durante los meses de Marzo, Junio-Julio y Octubre, meses durante los cuales, como puede observarse, se registraron niveles intermedios de PM10. Los niveles más bajos se registraron durante los meses de Agosto y Diciembre, meses en los que la actividad industrial pudo ser menor debido a las vacaciones laborales y la

existencia por tanto de menor actividad industrial y menos tráfico. El mes de Septiembre presenta valores muy altos con un nivel medio mensual próximo a los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10. Este mes se caracterizó por una baja pluviometría y condiciones de estabilidad atmosférica (Menéndez et al., 2003) que, sin duda, contribuyeron a la acumulación de contaminantes atmosféricos, en general, y de partículas, en concreto.

En el caso de Beasain, y exceptuando el anómalo mes de Septiembre, los valores más altos durante el 2002 se registraron los 4 primeros meses, con valores siempre por encima de los $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media mensual. Teniendo en cuenta que el tráfico no ha debido variar demasiado del primero al segundo semestre, esta disminución de los niveles de PM10 podría achacarse a alguna mejora en los sistemas de captación o producción de alguna de las empresas de la zona. En cualquier caso, sería interesante comprobar que tal disminución se mantuvo a lo largo de años posteriores.

Relación de los niveles de PM10 con otros contaminantes atmosféricos

En la **Figura III.9** se representan los patrones de PM10, NO y SO₂ para el mes de Enero de 2002 en la estación de Beasain. Se ha elegido el mes de Enero porque los niveles de PM10 eran elevados y es un mes en que raramente se registran advecciones de masas africanas cargadas de partículas que pudieran enmascarar las fuentes de contaminación local. Tampoco se detectaron durante el mes de Enero de 2002 situaciones anticiclónicas duraderas en el tiempo que pudieran propiciar la llegada de masas de contaminantes de origen europeo, frecuentes, en cambio, en el mes de Abril. Por último, los fenómenos mesoescalares, tipo brisas, que pudieran arrastrar contaminantes de la costa al interior, tal y como se registró en la estación de Llodio durante el año 2001, se producen con mayor frecuencia durante los meses de primavera-verano.

Podemos comprobar cómo la mayoría de los picos con contenidos elevados en PM10 están ligados a picos de NO, si bien hay algunos picos de PM10 que no parecen guardar relación con ningún otro contaminante atmosférico. Teniendo en cuenta la rápida oxidación en la atmósfera de NO a NO₂, la mayor fuente de PM10 y NO debe corresponder a un foco de contaminación local. Las fuentes de NO pueden ser tanto de tipo industrial como el tráfico. En caso de que sea el tráfico el responsable de los niveles

altos, deberían describirse pautas semanales muy marcadas, con fines de semana mostrando niveles bajos de contaminantes. Lo mismo ocurriría si la fuente fuese de tipo industrial y que no trabajara los domingos, pero dadas las grandes dimensiones, sobre todo de las plantas metalúrgicas próximas a la estación, es de suponer que no todas descansan el fin de semana. Los domingos del mes de Enero del 2002 fueron los días 6, 13, 20 y 27, por lo que sí parece apreciarse una cierta pauta semanal, sobre todo en el caso del NO y, en menor medida, para PM10. Así, los fines de semana del 19-20 y, en menor grado, el del 12-13, se registraron niveles altos de partículas, por lo que no puede descartarse la influencia de fuentes de tipo industrial.

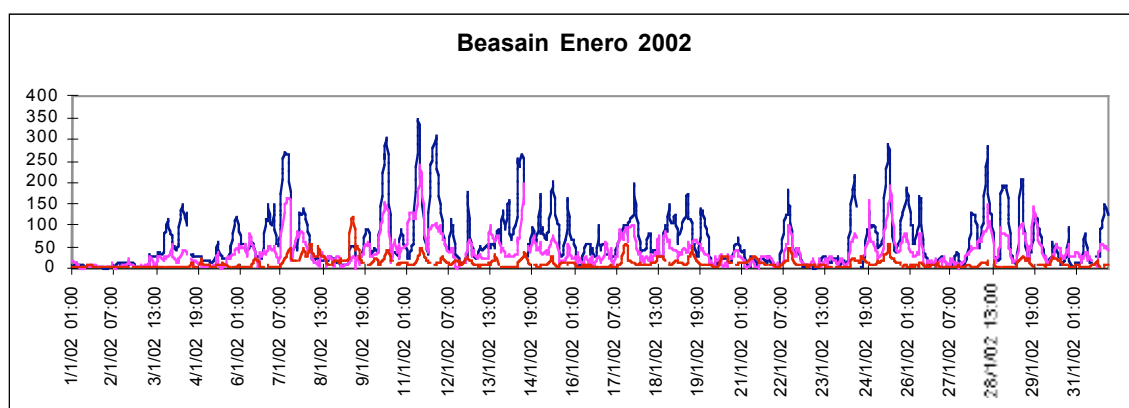


Figura III.9. Niveles de PM10 (azul), NO (rosa) y SO₂ (rojo) registrados en Beasain durante Enero del año 2002.

Conclusiones a partir de los datos del 2002

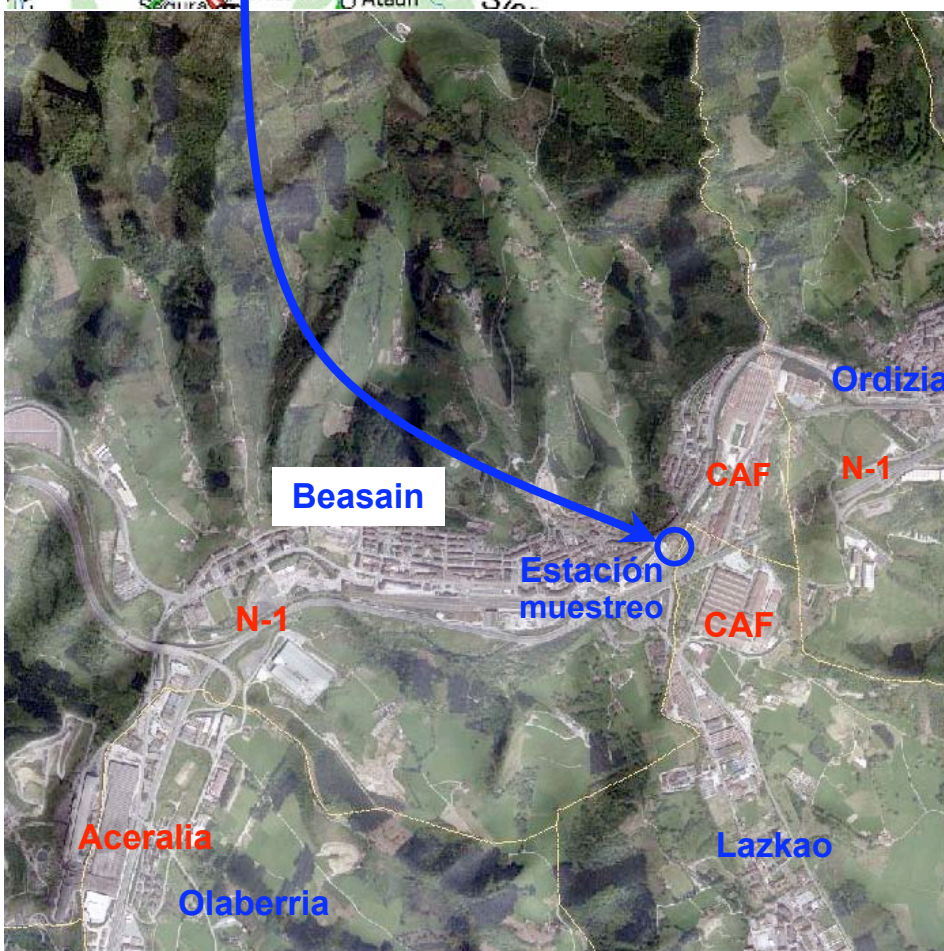
Los datos obtenidos en 2002 para la estación de la Red de Control de la Calidad del Aire de la CAPV situada en Beasain son coherentes con los del 2001 e indican que los niveles relativamente altos de PM10 registrados durante dicho año en aquella estación, en principio, no pueden ser achacables únicamente a la influencia del tráfico. Otras fuentes, posiblemente de origen industrial, además de las naturales en determinadas épocas del año, habrían contribuido substancialmente a los niveles de PM10 registrados por la estación de dicha localidad.

III.c. Metodología

La Red de Control de Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco estaba integrada en el año 2003 por 53 estaciones (localizadas muchas de ellas en el área del Bajo Nervión-Ibaizabal debido a la alta densidad industrial de aquella zona). Estas estaciones estaban situadas en los principales núcleos de población, siendo en su mayoría emplazamientos de tipo urbano y urbano-residencial, con influencia industrial.



Figura III.10. Localización geográfica de la localidad de Beasain y fotografía aérea de la zona de estudio (fuentes, www.viamichelin.com y web de la Diputación de Guipúzcoa). Norte: parte superior de la imagen.



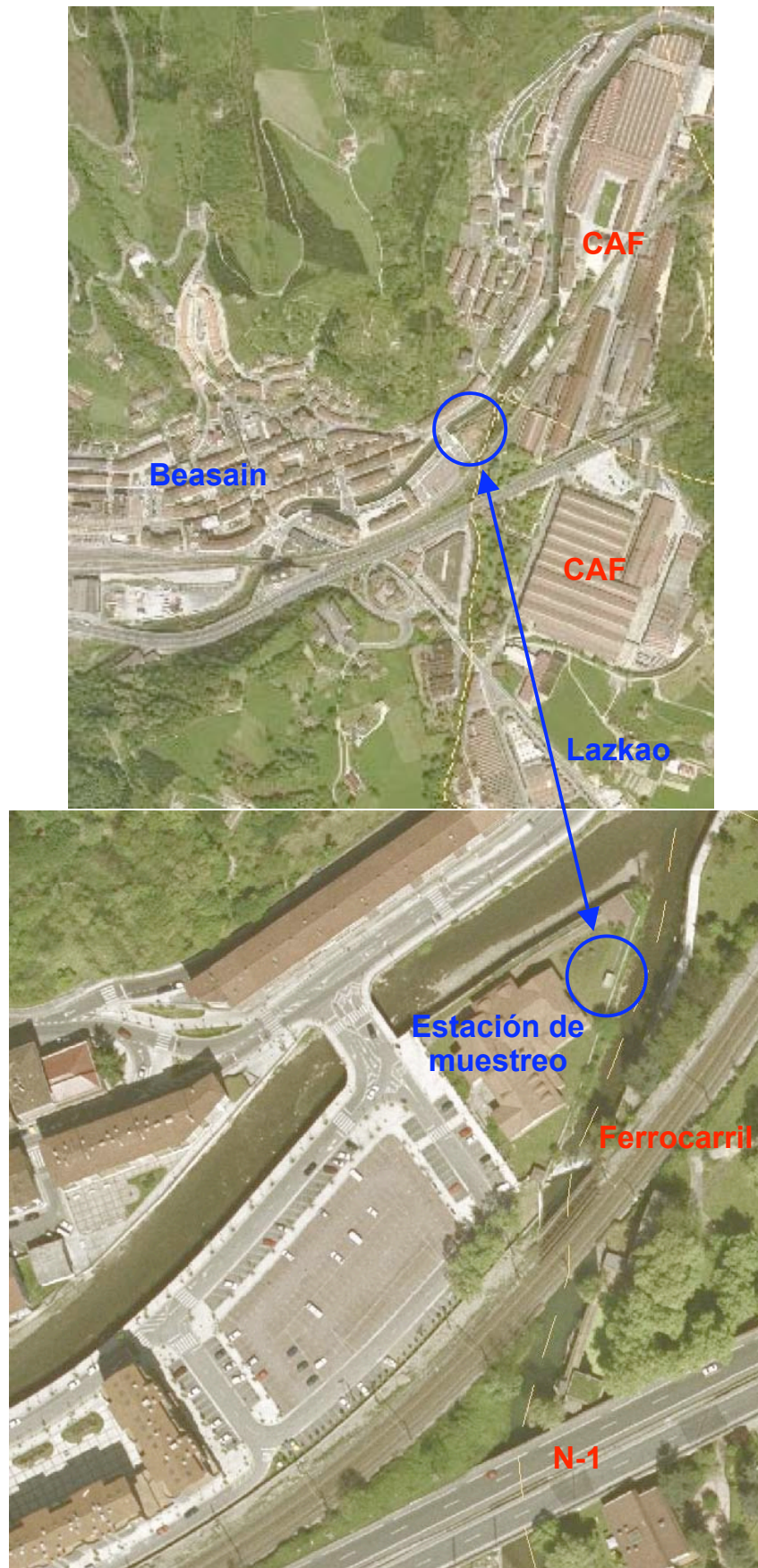


Figura III.11. Situación de la estación de muestreo junto al edificio Urbieta en el parque del mismo nombre de Beasain (fuente, web de la Diputación de Guipúzcoa). Norte: parte superior de la imagen.

La estación o cabina de Beasain puede considerarse como residencial con influencia de emisiones industriales debido a la proximidad de empresas con actividades de siderometalurgia, laminados, bienes de equipo, etc., así como a la cercanía de la estación a la carretera N-1 (**Figuras III.10 y III.11**).



Figura III.12. *Entorno de la estación de muestreo de Beasain desde el techo de la cabina (parte inferior de la foto) mostrando los edificios más próximos en dirección NO y la confluencia de los ríos Oria y Agauntza.*

La estación empleada en este estudio está localizada en el interior del parque Urbietta, en la parte trasera del edificio del mismo nombre que alberga la delegación territorial de la Seguridad Social del Instituto Nacional de Empleo, además de la biblioteca municipal. El citado edificio está situado junto a la confluencia del río Oria con uno de sus afluentes, el Agauntza (**Figuras III.11 y III.12**). Cerca de la cabina se encuentran la línea del ferrocarril Madrid-Irún y la carretera N-1. Los edificios más cercanos se encuentran a unos 50 metros, son de 7 plantas, y están situados hacia el Noroeste (**Figura III.12**); a una distancia algo mayor en dirección E se encuentran las primeras instalaciones de la empresa CAF. En el resto de direcciones las edificaciones son mucho más lejanas (**Figura III.11**).

La cabina se encontraba en buenas condiciones y constaba de un medidor automático de partículas de PM10 tipo Beta, lo que permitiría la intercomparación entre el equipo automático y el captador Andersen utilizado en este estudio (**Figura III.13**). Por lo tanto, tanto en lo concerniente a la localización de la estación, alejada de edificios altos y protegida en un parque

público pero vallado, como por lo que se refiere a la equipación disponible en la misma, se consideró que se trataba de una ubicación apropiada para la realización del estudio.



Figura III.13. *Aspecto exterior de la cabina utilizada en el muestreo y detalle de los equipos instalados sobre el techo para la medición del PM10: captador gravimétrico Andersen y cabezal del detector automático Beta.*

A finales de Junio de 2003 y con objeto de llevar a cabo el presente proyecto se instaló en la cabina un captador de alto volumen tipo Andersen para el muestreo de PM10. Además, la estación de Beasain es una cabina instrumentada para el control de la calidad del aire de la red de la Comunidad Autónoma del País Vasco que disponía del siguiente equipamiento: un equipo de medida de atenuación de la radiación Beta dotado de un cabezal de PM10,

equipos para la medida de contaminantes gaseosos (dióxido de azufre, ozono y óxidos de nitrógeno), así como una estación meteorológica para la medida de la temperatura, humedad relativa y velocidad y dirección del viento (**Figura III.14**).



Figura III.14. *Aspecto del interior de la cabina utilizada en el muestreo mostrando los equipos de medición automática instalados en la misma. En la parte superior de la columna central se halla el medidor de atenuación de la radiación Beta (cf. texto).*

Semanalmente se realizaron dos muestreos diarios consecutivos de PM₁₀ utilizando como soporte filtros de fibra de cuarzo. Los días de muestreo fueron móviles y desplazados un día cada semana. El muestreo comenzó el 4 de Julio de 2003 y finalizó el 30 de Julio de 2004.

Medida gravimétrica de PM₁₀

Se ha utilizado un equipo de alto volumen Thermo-Andersen con cabezal de corte PM₁₀ y caudal de aspiración de 68 m³/h, para la determinación de niveles y muestreo de PM₁₀ con resolución diaria (24h; **Figura III.5**). Este es el equipo de referencia de alto volumen para el muestreo de PM₁₀ de la norma EN-1234-1.

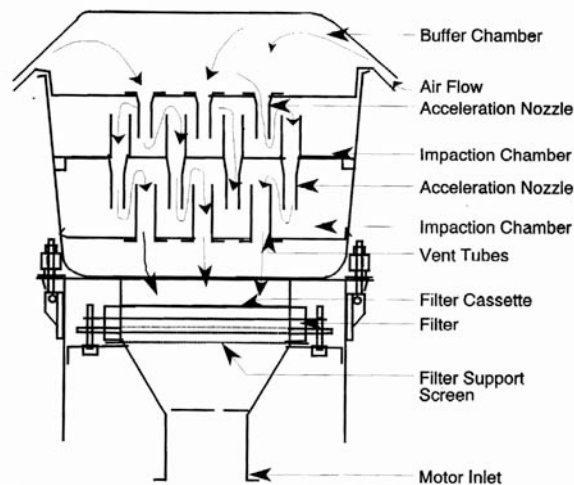


Figura III.15. *Aspecto del muestreador de alto volumen Thermo-Andersen empleado en la recolección del material particulado PM10 en la localidad de Beasain y esquema del funcionamiento de dicho muestreador (cf. texto).*

El funcionamiento de este equipo es el siguiente: el aire penetra a través de la abertura ubicada en la parte superior del cabezal de corte (PM10 o PM2.5, en este caso PM10) por efecto de la aspiración de la bomba, siendo aspirado en forma simétrica, esto es, independientemente de la dirección del viento, durante 24 horas (**Figura III.15**). Una vez dentro del cabezal de muestreo, el flujo de aire se acelera a través de una serie de boquillas impactadoras para después ser dirigido hacia la superficie de impactación.

Debido a su momento de inercia, aquellas partículas que poseen diámetros aerodinámicos mayores de 10 μm quedan retenidas en la superficie de la cámara mientras que las restantes poseen la suficiente inercia como para continuar a través de las boquillas inferiores hacia un filtro de fibra de cuazo. Las partículas de diámetro seleccionado (PM10 en este caso) son retenidas sobre el filtro mientras que el aire limpio es finalmente expulsado por el extremo opuesto del equipo.

El equipo cuenta con una bomba de vacío, la cual se encuentra conectada a un sensor de masa que permite no solo seleccionar el flujo o caudal de aire al cual se realiza el muestreo, sino que también regula la

potencia de la bomba para mantenerlo constante a través de todo el período de muestreo. Además, el muestreador tiene incorporado un reloj programador y un cronómetro con el fin de contabilizar el tiempo total de muestreo.

La programación del equipo permite la realización del muestreo durante el periodo deseado, en este caso 24 horas, con días de muestreo móviles y desplazados un día cada semana. Entre cada tanda de muestreo se procedió a limpiar el cabezal del muestreador recubriendo al mismo tiempo de vaselina las paredes internas del mismo para minimizar la entrada de insectos, vegetales, etc.

Los filtros utilizados para el muestreo fueron filtros de fibra de cuarzo de la marca Schleicher and Schuell, de 203x254 mm. Los filtros, después de ser acondicionados y pesados, son colocados en su correspondiente soporte y sujetos mediante juntas de goma y el cierre metálico adecuado.

Para cada filtro se utiliza un sobre individual y se elabora una ficha en la que se incluye la siguiente información:

1. Código de muestra (número del filtro): la fecha de comienzo del muestreo.
2. Condiciones meteorológicas.
3. Tiempo de duración (si no hay ningún problema será de 24 horas) y hora de cambio del filtro.
4. Caudal de aire programado: 30 m³/h
5. Lectura volumétrica inicial del captador (m³ totales registrados en el contador acumulativo antes del muestreo).
6. Lectura volumétrica final del captador (m³ totales registrados en el contador acumulativo después del muestreo).
7. Total m³ Display: m³ muestreados correspondientes al total de m³ del display (tiene que coincidir con la diferencia de 8 – 7).
8. Observaciones: las incidencias durante el muestreo (si las hubiera)
9. Peso en blanco del filtro antes del muestreo.
10. Peso del filtro después del muestreo.

Previamente al muestreo los filtros fueron acondicionados, mediante su secado a 205 °C durante 5 horas, y pesados en las instalaciones del Servicio de Geocronología y Geoquímica Isotópica de la Universidad del País Vasco/EHU, utilizando una balanza Sartorius LA 130S-F, específica para este fin (**Figura III.16**). Todas las pesadas se realizan por duplicado a intervalos de

24 horas. Una vez realizado el muestreo, y como paso previo a la pesada de la muestra, los filtros son acondicionados durante al menos 72 horas en condiciones constantes de temperatura y humedad, tras lo cual se realiza la pesada.



Figura III.16. Aspecto de la balanza de 5 cifras Sartorius utilizada para pesar los filtros estudiados. La balanza se encuentra en una cabina de flujo laminar horizontal dentro de un laboratorio presurizado con temperatura y humedad constantes (sala blanca).

Medida automática de PM10

La estación de Beasain cuenta con un medidor automático de partículas de PM10 tipo Beta (**Figuras III.13, III.14, III.17**), lo que permite la intercomparación entre el equipo automático y el Andersen utilizado en el estudio (véase más adelante).

El equipo automático realiza la medida de la concentración de PM10 por medio del cálculo de la atenuación de la radiación Beta al atravesar una muestra recogida sobre un filtro de fibra de vidrio durante 1 hora. Los filtros se encuentran montados sobre un rodillo que avanza una posición cada hora, de modo que las medidas se realizan de forma automática (**Figura III.17**). Por diferentes problemas, el muestreo no ha sido continuo durante todo el periodo

del estudio, sino que diversas paradas del equipo de muestreo automático han hecho que la disponibilidad de datos no sea del 100 %.

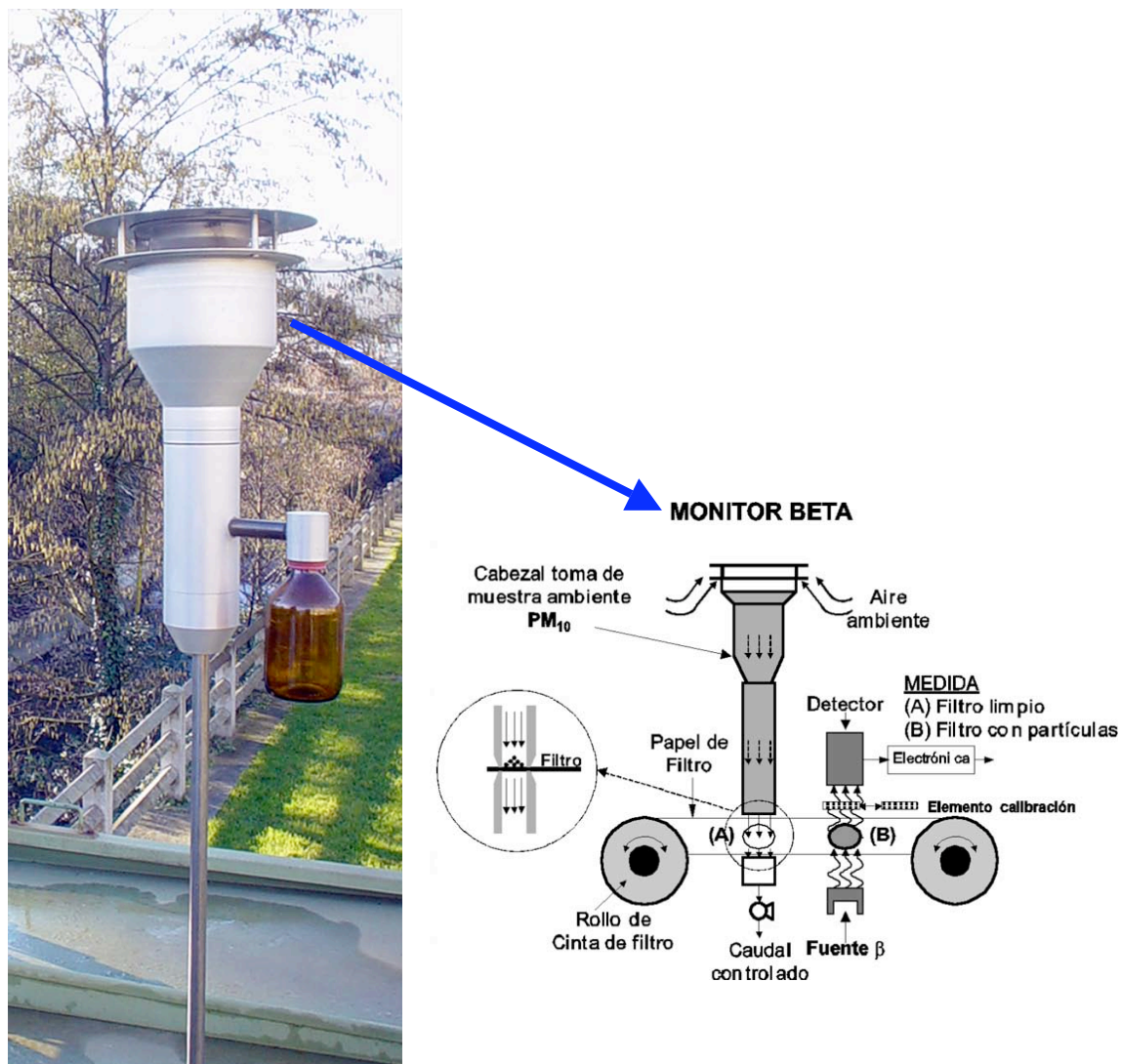


Figura III.17. Izquierda: cabezal del equipo de medida automática de PM₁₀ mediante atenuación de la radiación beta utilizado en este estudio. A la derecha, esquema del funcionamiento de dicho medidor (cf. texto).

En síntesis, los métodos de trabajo más relevantes aplicados en la realización del estudio 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 Control de la Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco.
- El análisis químico del MPA recogido en los filtros.

- El análisis de contribución de fuentes y de las causas de las superaciones.

Otros detalles técnicos sobre los métodos empleados en la realización de cada una de estas fases se describen más adelante dentro de los diferentes apartados de la memoria.

IV. ESTUDIO GRAVIMÉTRICO DEL MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO

IV.a. Intercomparación de equipos de muestreo de PM10

ESTACIÓN DE BEASAIN: INTERCOMPARACIÓN BETA – ANDERSEN

Periodo de muestreo: Julio 2003 - Julio 2004

Introducción

La Directiva 1999/30/CE, primera Directiva Hija de la Directiva Marco de Calidad del Aire 1996/62/CE, requiere que los Estados Miembros implementen programas de medidas de material particulado en aire ambiente a partir del 19 de Julio de 2001. También requiere que presenten anualmente los datos obtenidos a través de estos programas en la Comisión y que esta información sea pública. La Directiva establece las metodologías y técnicas para medir niveles de partículas, ya sea utilizando la instrumentación del método de referencia, o bien 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

seguida 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 los equipos de atenuación de la radiación beta o los

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 efectuar la intercomparación entre los equipos candidatos y los equipos de referencia, cabe citar:

- Debe haber, al menos, dos grupos de medidas para la intercomparación: (i) un primer grupo debe ser realizado durante una estación fría (invierno, por ejemplo) y, (ii) un segundo grupo debe estar realizado durante una estación cálida (como puede ser el verano).
- El número mínimo de datos validados (pares de medias diarias) para verano e invierno no debe ser inferior a 30.
- La correlación entre el equipo candidato y el del método de referencia será considerada válida si los resultados permiten obtener un coeficiente de correlación $R^2 > 0,8$.
- 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 $\pm 10 \%$.
- Si son necesarios factores/ecuaciones de corrección estacionales (diferencias entre las medias diarias corregidas superiores a $\pm 10 \%$) se recomienda el uso de medias móviles de los factores/ecuaciones de corrección para evitar discontinuidades en las series temporales al cambiar de estación.
- 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 lineales se recomienda utilizar ecuaciones de corrección en vez de factores de corrección.
- 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. No obstante, la normativa vigente en el caso que nos ocupa (Real Decreto 1073/2002) **establece un factor de 1,2** que es el que se ha utilizado a lo largo de los capítulos que siguen en el tratamiento de los datos suministrados por los equipos automáticos de la red de control de calidad del aire.

IV.b. Resultados de la Intercomparación para la estación de Beasain

El presente informe recoge los resultados obtenidos desde el 4 de Julio de 2003 hasta el 14 de Julio del 2004 para el estudio de intercomparación entre el equipo de referencia de medida de PM10 (Andersen) y el equipo de atenuación de la radiación beta, ambos instalados en la estación de la Red de Control de la Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco en la localidad de Beasain.

Los datos del equipo Beta fueron suministrados por los responsables de la Red, mientras que los datos gravimétricos del equipo Andersen 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 han especificado los siguientes datos:

- **Periodo:** Periodo considerado.
- **N:** Número de datos válidos.
- **PM10:** Concentración Media de PM10 (en $\mu\text{g m}^{-3}$) del equipo AUTOMÁTICO para el periodo considerado.
- **NS:** Número de días con valores medios diarios superiores al límite diario establecido por la Directiva EC 1999/30 ($50 \mu\text{g PM10 m}^{-3}$) obtenidos con el equipo AUTOMÁTICO.
- **PM10:** Concentración Media de PM10 (en $\mu\text{g m}^{-3}$) del equipo REFERENCIA para el periodo considerado.

- **NS:** Número de días con valores medios diarios superiores al límite diario establecido por la Directiva EC 1999/30 ($50 \mu\text{g PM}_{10} \text{ m}^{-3}$) obtenidos con el equipo de REFERENCIA.
- **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 y x a los obtenidos con el equipo de referencia, siendo a la pendiente y b la ordenada en el origen), junto con el coeficiente de correlación (R^2).
- **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).
- **Factor:** factor de correlación obtenido a partir de la relación (ratio) entre los valores obtenidos con el equipo de REFERENCIA y el AUTOMÁTICO.

En las gráficas de correlación obtenidas, tanto para el conjunto de datos (**Figura IV.1**) como para cada uno de los periodos considerados (cf. **Figuras IV.2 a IV.5**), se incluyen tanto la ecuación de regresión como el coeficiente de correlación iniciales, así como la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación obtenidos forzando a la ecuación a pasar por el origen.

Como puede observarse en dichas Figuras, existe cierta variación estacional en los resultados obtenidos para el estudio de intercomparación en Beasain. Por ello, 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, se efectúa un nuevo tratamiento de los datos considerando esta posibilidad. Los resultados de este nuevo tratamiento de los datos se recogen en la **Tabla IV.1** donde se presentan:

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, esto es, el factor global, así como los factores estacionales.

2. Los datos gravimétricos obtenidos por el método de referencia (Andersen) para su comparación con los resultados de las distintas correcciones.

Tabla IV.1. Resultados de la intercomparación BETA-ANDERSEN para la estación de Beasain.

Periodo	N	Automático		Referencia		Ecuación	Ecuación origen	Factor
	(válido)	PM ₁₀ (µg m ⁻³)	NS	PM ₁₀ (µg m ⁻³)	NS	Auto = a*Ref + b R ²	Auto = a*Ref + b R ²	Media ref./ Media automát.
TODO	78	32,3	13	35,5	15	y = 0,88x + 0,95 R ² = 0,828	y = 0,90x R ² = 0,827	1,11
JUL-SEP	13	30,6	3	36,4	3	y = 0,92x - 2,94 R ² = 0,806	y = 0,85x R ² = 0,801	1,18
OCT-DIC	22	36,2	5	31,9	5	y = 1,04x + 2,69 R ² = 0,951	y = 1,10x R ² = 0,946	0,91
ENE-MAR	19	40,1	5	45,4	7	y = 0,73x + 6,77 R ² = 0,859	y = 0,86x R ² = 0,830	1,16
ABR-JUL	24	23,6	0	30,4	0	y = 0,87x - 2,90 R ² = 0,906	y = 0,78x R ² = 0,896	1,28

Se puede analizar de este modo el grado de coincidencia entre el número de días de superación obtenido mediante la corrección de los datos automáticos con un factor determinado, con el número de días de superación obtenidos por el método gravimétrico. 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 Beasain se observa que el PM10 corregido sobreestima la masa obtenida por el método gravimétrico, lo que se traduce en un mayor número de días de superación a partir de los datos corregidos.

Por otra parte, los resultados obtenidos para los distintos factores aplicados son muy similares (tanto en lo que se refiere a la media como al número de 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 BEASAIN = 1,11

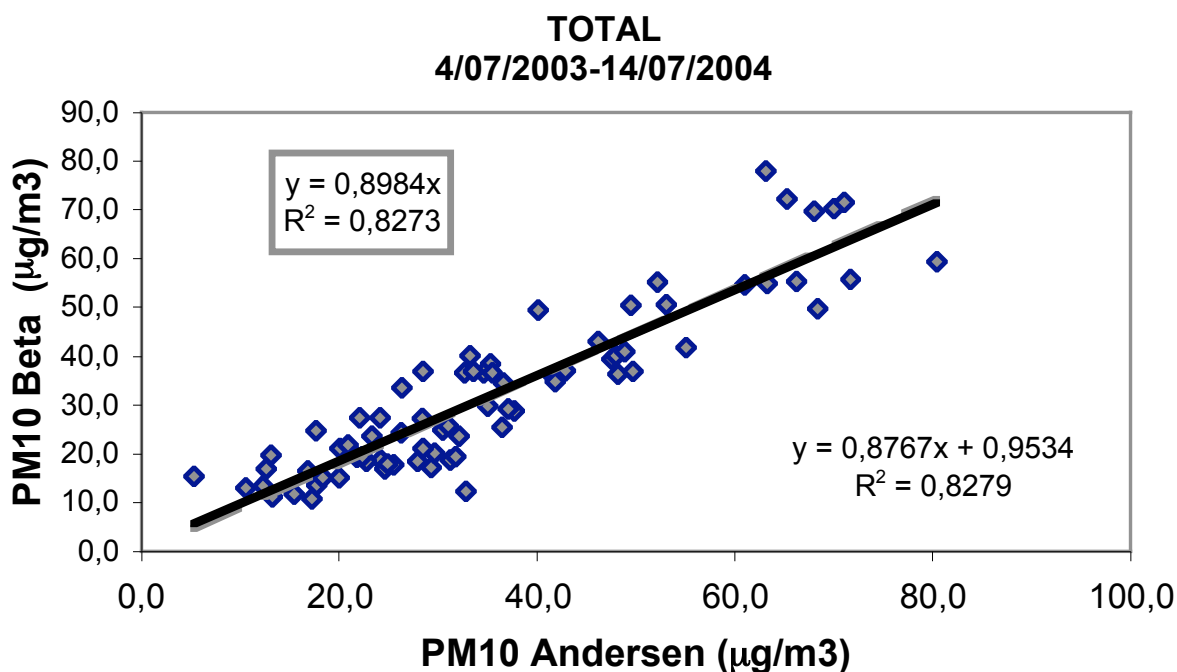


Figura IV.1. Representación gráfica de las medidas de PM10 del equipo Beta frente al equipo de referencia (Andersen) de la estación de Beasain para el periodo del 4 de Julio de 2003 al 14 de Julio de 2004. Se indican los valores del coeficiente de correlación (R^2) y la ecuación de la recta de regresión. Datos no enmarcados y línea de trazos: regresión pasando por el origen.

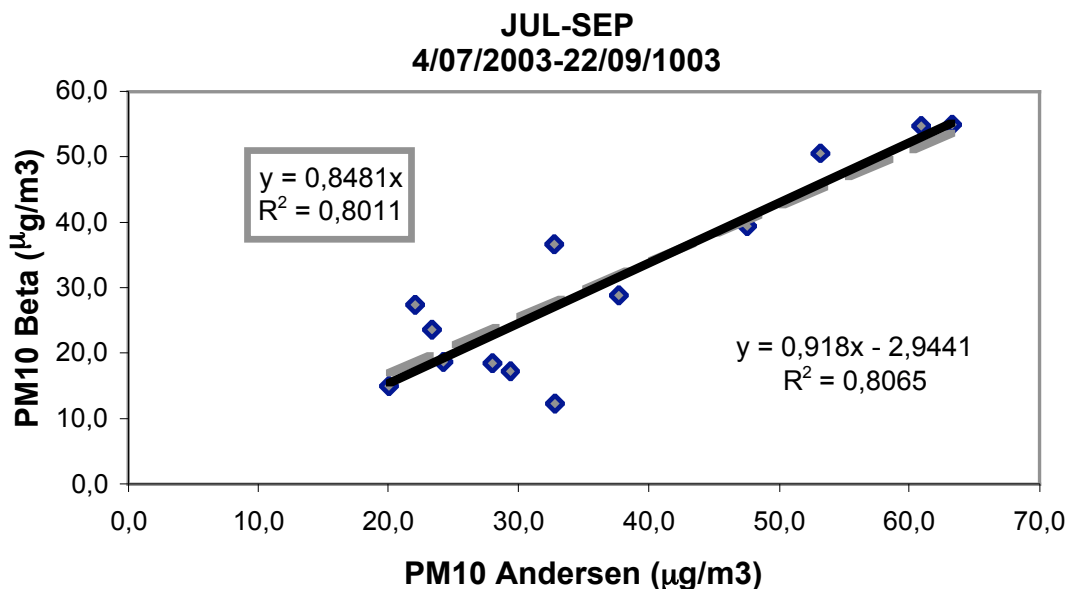


Figura IV.2. Representación gráfica de las medidas de PM10 del equipo Beta frente al equipo de referencia (Andersen) de la estación de Beasain para el periodo del 4 de Julio de 2003 al 22 de Septiembre de 2003. Se indican los valores del coeficiente de correlación (R^2) y la ecuación de la recta de regresión. Datos no enmarcados y línea de trazos: regresión pasando por el origen.

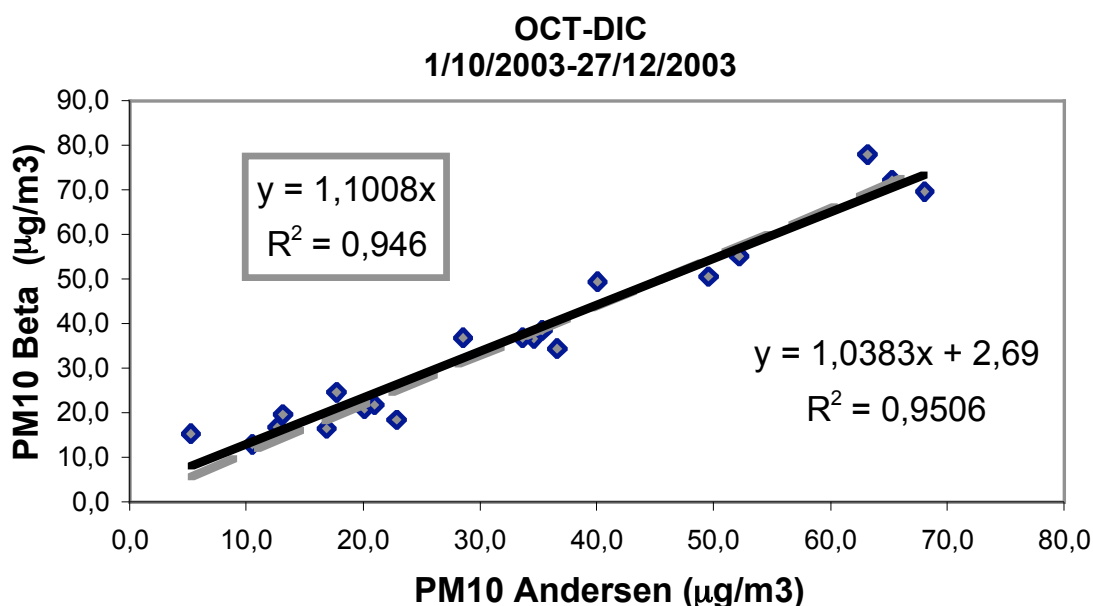


Figura IV.3. Representación gráfica de las medidas de PM10 del equipo Beta frente al equipo de referencia (Andersen) de la estación de Beasain para el periodo del 1 de Octubre de 2003 al 27 de Diciembre de 2004. Se indican los valores del coeficiente de correlación (R^2) y la ecuación de la recta de regresión. Datos no enmarcados y línea de trazos: regresión pasando por el origen.

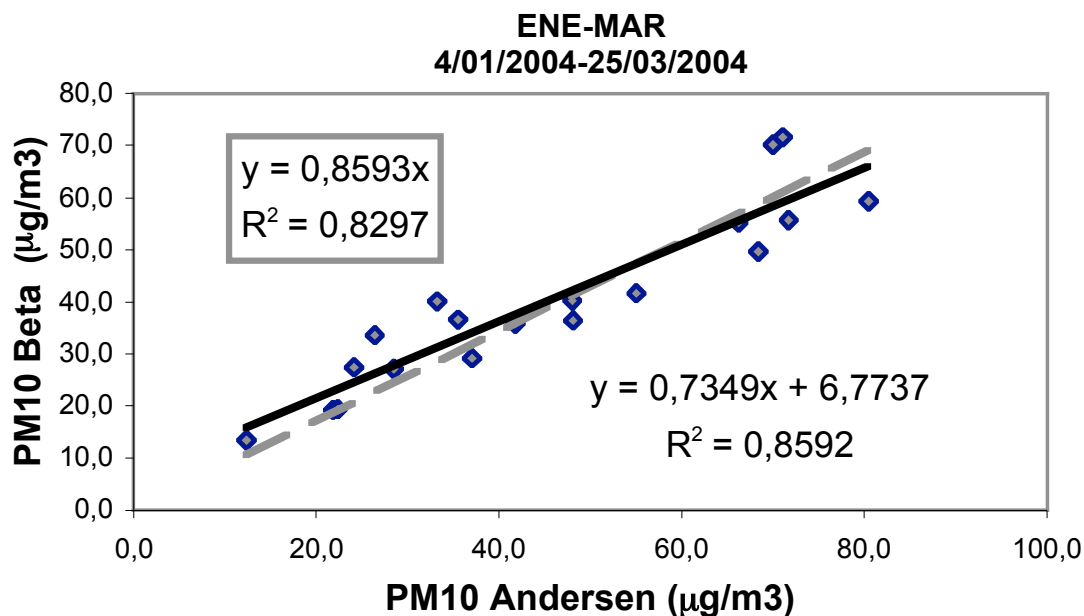


Figura IV.4. Representación gráfica de las medidas de PM10 del equipo Beta frente al equipo de referencia (Andersen) de la estación de Beasain para el periodo del 4 de Enero de 2004 al 25 de Marzo de 2004. Se indican los valores del coeficiente de correlación (R^2) y la ecuación de la recta de regresión. Datos no enmarcados y línea de trazos: regresión pasando por el origen.

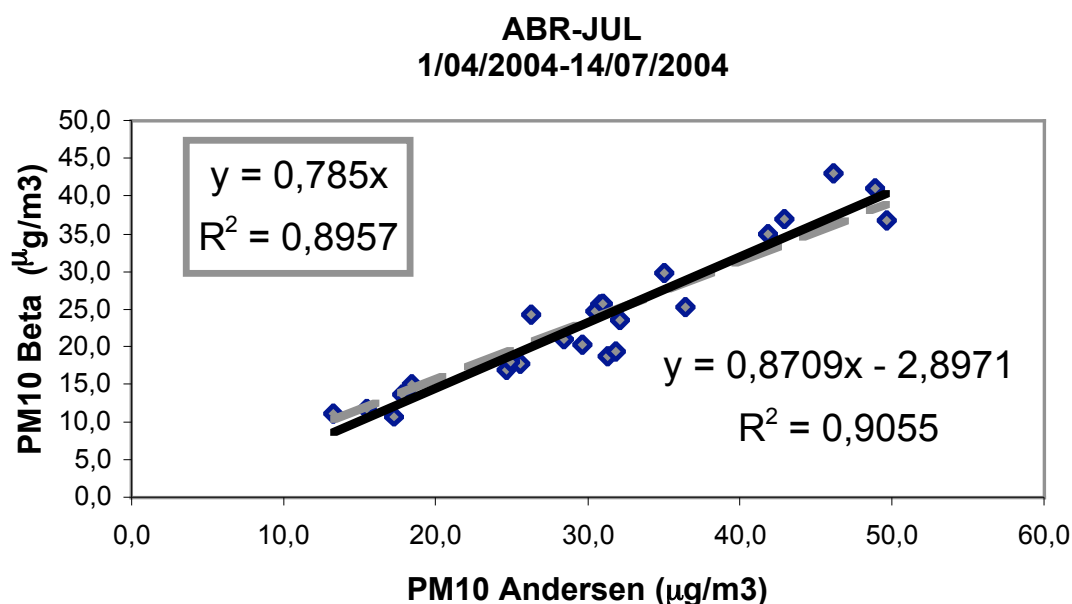


Figura IV.5. Representación gráfica de las medidas de PM10 del equipo Beta frente al equipo de referencia (Andersen) de la estación de Beasain para el periodo del 1 de Abril de 2004 al 14 de Julio de 2004. Se indican los valores del coeficiente de correlación (R^2) y la ecuación de la recta de regresión. Datos no enmarcados y línea de trazos: regresión pasando por el origen.

Tabla IV.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 Beasain. Periodo: Julio 2003 a Diciembre de 2003.

Fecha	PM10 Automático	PM10 Automático corregido		PM10 Referencia
		4/07/03-14/07/04 Factor global 1,11	4/07/03-22/09/03 Factor estacional 1,18	
04/07/2003	12,33	13,69	14,55	32,78
20/07/2003	18,75	20,81	22,13	24,23
21/07/2003	23,63	26,22	27,88	23,33
28/07/2003	18,50	20,54	21,83	27,94
29/07/2003	17,17	19,06	20,26	29,35
05/08/2003	54,92	60,96	64,80	63,29
06/08/2003	50,57	56,13	59,67	53,12
13/08/2003	54,70	60,71	64,54	60,94
14/08/2003	39,38	43,71	46,46	47,55
29/08/2003	15,04	16,70	17,75	20,06
14/09/2003	28,79	31,96	33,97	37,70
15/09/2003	36,67	40,70	43,27	32,73
22/09/2003	27,38	30,39	32,30	22,03
		4/07/03-14/07/04 Factor global 1,11	1/10/03-27/12/03 Factor estacional 0,91	
01/10/2003	20,96	23,26	19,07	20,13
08/10/2003	16,46	18,27	14,98	16,90
09/10/2003	18,54	20,58	16,87	22,82
16/10/2003	34,42	38,20	31,32	36,64
17/10/2003	50,50	56,06	45,96	49,54
24/10/2003				30,31
25/10/2003				23,71
01/11/2003	24,63	27,33	22,41	17,71
02/11/2003	36,79	40,84	33,48	28,52
09/11/2003	16,88	18,73	15,36	12,65
10/11/2003	38,52	42,76	35,05	35,34
17/11/2003	36,63	40,65	33,33	34,62
18/11/2003	69,67	77,33	63,40	68,05
25/11/2003	77,96	86,53	70,94	63,11
26/11/2003	15,33	17,02	13,95	5,24
03/12/2003	55,25	61,33	50,28	52,17
04/12/2003	19,70	21,86	17,92	13,17
11/12/2003	72,29	80,24	65,79	65,26
12/12/2003	36,83	40,89	33,52	33,59
19/12/2003	49,46	54,90	45,01	40,10
20/12/2003	21,79	24,19	19,83	20,93
27/12/2003	13,04	14,48	11,87	10,57

Tabla IV.2 (continuación): Datos del equipo automático Beta, corregido por los distintos factores, y datos gravimétricos por el método de referencia para la estación de Beasain. Periodo: Enero 2004 a Julio 2004.

Fecha	PM10 Automático	PM10 Automático corregido		PM10 Referencia
		4/07/03-14/07/04 Factor global 1,11	4/01/04-25/03/04 Factor estacional 1,16	
04/01/2004	19,25	21,37	22,33	21,79
05/01/2004	40,04	44,45	46,45	33,21
12/01/2004	36,67	40,70	42,53	35,48
13/01/2004	27,42	30,43	31,80	24,14
20/01/2004	33,63	37,32	39,01	26,38
21/01/2004	13,46	14,94	15,61	12,35
28/01/2004	27,21	30,20	31,56	28,43
05/02/2004	70,21	77,93	81,44	70,01
06/02/2004	40,17	44,59	46,59	48,01
13/02/2004	55,29	61,37	64,14	66,20
14/02/2004	59,29	65,81	68,78	80,42
21/02/2004	36,38	40,38	42,20	48,13
02/03/2004	49,75	55,22	57,71	68,35
08/03/2004	35,83	39,78	41,57	41,76
09/03/2004	41,71	46,30	48,38	55,09
16/03/2004	71,57	79,44	83,02	71,05
17/03/2004	55,75	61,88	64,67	71,69
24/03/2004	19,42	21,55	22,52	22,34
25/03/2004	29,13	32,33	33,79	37,07
		4/07/03-14/07/04 Factor global 1,11	1/04/04-14/07/04 Factor estacional 1,28	
01/04/2004	13,58	15,08	17,39	17,80
02/04/2004	23,63	26,22	30,24	32,14
09/04/2004	11,17	12,40	14,29	13,27
10/04/2004	11,75	13,04	15,04	15,48
25/04/2004	25,33	28,12	32,43	36,43
03/05/2004	15,09	16,75	19,31	18,44
04/05/2004	20,21	22,43	25,87	29,63
11/05/2004	21,04	23,36	26,93	28,49
12/05/2004	18,71	20,77	23,95	31,31
19/05/2004	41,04	45,56	52,53	48,90
20/05/2004	43,08	47,82	55,15	46,17
27/05/2004	36,75	40,79	47,04	49,65
28/05/2004	37,00	41,07	47,36	42,89
04/06/2004	29,83	33,12	38,19	35,05
05/06/2004	24,33	27,01	31,15	26,32
12/06/2004	10,75	11,93	13,76	17,22
13/06/2004	16,92	18,78	21,65	24,66
20/06/2004	17,75	19,70	22,72	25,55
21/06/2004	25,70	28,52	32,89	30,82
28/06/2004	19,42	21,55	24,85	31,83
29/06/2004	34,92	38,76	44,69	41,85
06/07/2004	24,79	27,52	31,73	30,51
07/07/2004	17,96	19,93	22,99	24,91
14/07/2004	25,77	28,61	32,99	30,97
nº superaciones	13	15	15	15
media	32,3	35,8	36,0	35,5

IV.d. Comparación con otras estaciones: e.g. la estación de referencia de Llodio y la estación de Abanto

A continuación se comparan los resultados anteriores con los de la intercomparación obtenidos para la estación considerada en otros trabajos como estación de referencia, esto es, la estación de Llodio durante el año 2001 (cf. Viana, 2003). En el caso de Llodio se utilizó un equipo de referencia de medida de PM10 de Alto Volumen Graseby-Andersen PM10, junto con un equipo de atenuación de la radiación beta modelo FH 62 I-N Eberline (FAG), ambos de la Red de Control de la Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

En el caso de Beasain la intercomparación se ha realizado utilizando un total de 79 pares de datos con los equipos y metodología descritos en apartados precedentes. 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.6**.

En ambos casos la regresión tiene un coeficiente de correlación (R^2) superior a 0,8, por lo que puede afirmarse 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 5 en el caso de Basauri. El factor de conversión obtenido para Llodio fue de 1,18 frente al 1,15 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.

A título comparativo se presentan los resultados para la estación de Abanto donde el muestreo tuvo lugar entre Diciembre de 2001 y Diciembre del 2002, utilizándose como equipo de referencia de medida de PM10 un captador de alto volumen MCV-CAV1025. El número de pares de datos disponibles fue de 71 resultand un factor de intercomparación bastante más elevado: 1,37.

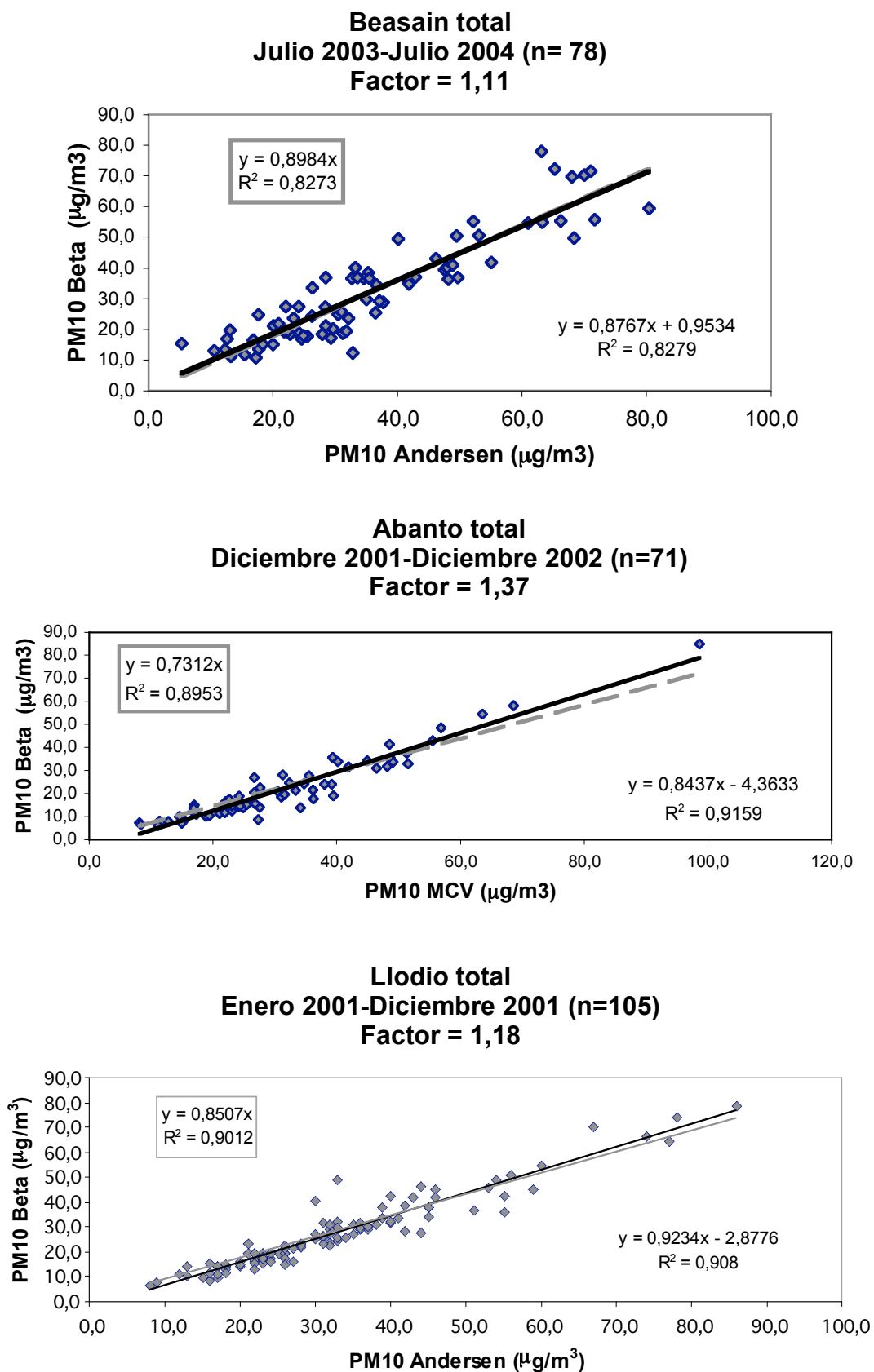


Figura IV.6. Intercomparación de equipos. Parte superior: Andersen-Beta estación de Beasain (Julio 2003 a Julio 2004). Parte media: Andersen-Beta estación de Llodio (Enero a Diciembre 2001). Parte inferior: MCV-Beta estación de Abanto (Diciembre 2001 a Diciembre 2002).

En lo que sigue, en el presente estudio los datos del equipo Beta de Beasain se han multiplicado por 1,2 ya que este es el valor (redondeado a 1 decimal) obtenido con un equipo de referencia y en un laboratorio homologado (esto es, teniendo en cuenta el estudio de Llodio).

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 el laboratorio homologado de referencia y, (ii) se confirma lo observado para otras estaciones (e.g., Abanto, Basauri) acerca de los buenos resultados suministrados por los equipos automáticos de medida de PM10 mediante la atenuación de la radiación beta pertenecientes a la Red de Control de la Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

IV.a. Niveles de PM10

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

- 35,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 (**Tabla IV.2**), determinados mediante el uso de un equipo gravimétrico Thermo-Andersen de alto volumen. El número de medidas diarias ha sido de 80.
- 35,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 (**Tabla IV.3**), determinados mediante medidas automáticas en tiempo real con el equipo de atenuación de la radiación beta. Se trata ya de valores corregidos multiplicando por el factor de 1,2 ($n = 390$).

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 Andersen de alto volumen.

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

Período	PM10 Beta	n > 50	N > 50 Sahara
2003			
Julio	27	0	0
Agosto	33	6	6
Septiembre	35	4	0
Octubre	31	2	0
Noviembre	50	11	5
Diciembre	37	5	0
2004			
Enero	35	6	0
Febrero	48	11	1
Marzo	47	12	5
Abril	30	3	1
Mayo	31	4	3
Junio	32	1	1
Julio	31	1	1
Promedio	36	66	23

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 registrados en la estación de Beasain se sitúan dentro de los rangos descritos para estaciones de fondo urbano del Estado ($30\text{--}45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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, el cual se reducirá a un máximo de 7 superaciones en el 2010. En el caso de Beasain, el número de superaciones, tal y como muestra la **Tabla IV.3**, fue de 66, de las cuales sólo 23 fueron debidas a la intrusión de masas de aire africano con alto contenido en partículas.

Es decir, 43 superaciones deben ser consideradas como el resultado de emisiones de origen industrial y/o urbano. El número de superaciones es bajo si se compara con otras estaciones de fondo urbano de la Península. De nuevo, por tanto, la conclusión es que Beasain estaría en la fecha del estudio dentro del límite establecido para el 2005 por la Directiva, pero excedería el número máximo de superaciones para el 2010.

El mes con mayor concentración media de partículas correspondió al mes de Noviembre de 2003. Esto fue debido a la abundancia de intrusiones de masas de aire procedentes de África como se expone más adelante. Otro mes con elevada concentración de partículas, debido a nuevos episodios de intrusiones fue el mes de Marzo, mientras que en el mes de Febrero, también con concentración media elevada de partículas, el origen de las superaciones habría sido más bien de tipo antropogénico (cf. Capítulo sobre series temporales). La **Figura IV.7** refleja la variación estacional de los niveles de partículas en Beasain durante el periodo de estudio.

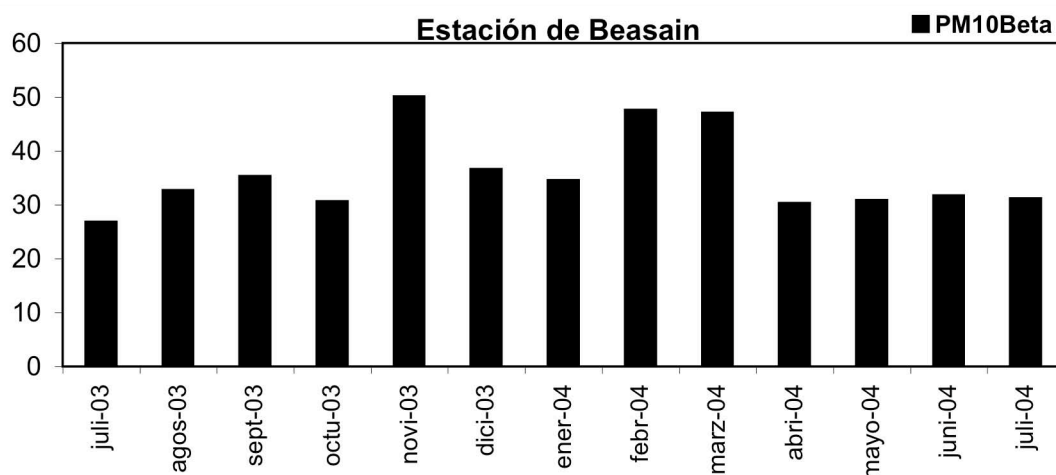


Figura IV.7. Variación estacional de los niveles de partículas en Beasain durante el periodo de estudio. Datos de la Red de Control de la Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

V. ESTUDIO DE LAS SERIES TEMPORALES.

PRIMERA PARTE:

Relaciones entre PM10 y contaminantes

El estudio de las series temporales comienza con una revisión estadística de los niveles de PM10 proporcionados por los equipos de la Red de Control de la Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco, de la que se obtiene una primera visión del grado de cumplimiento de los valores límite de PM10 según la directiva 1999/30/CE. A continuación se analiza la correlación con los niveles de contaminantes gaseosos locales, lo que permite deducir el grado de influencia de las fuentes locales de material particulado a lo largo de una serie temporal.

V.a. Niveles de PM10 y de contaminantes gaseosos

En las Tablas y Figuras que se exponen a continuación se presentan los resultados de los contenidos en PM10 (Beta) y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Beasain durante los años 2003 y 2004, esto es, a lo largo de un periodo más largo que el estrictamente correspondiente al de la realización del muestreo (Julio de 2003 a Julio del 2004). Los datos han sido suministrados por el Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco.

Valores medios

Los niveles medios de partículas y contaminantes registrados por los equipos de la estación de Beasain durante los años 2003 y 2004 se presentan en la **Tabla V.1.**

Tabla V.1. Niveles medios de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Beasain durante los años 2003 y 2004 (datos suministrados por el Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Gobierno Vasco).

	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
AÑO 2003					
Enero 2003	39	39	23	28	9
Febrero 2003	30	36	35	31	10
Marzo 2003	25	42	47	46	11
Abril 2003	15	33	54	28	8
Mayo 2003	13	26	51	28	7
Junio 2003	9	25	48	34	6
Julio 2003	9	21	47	27	5
Agosto 2003	9	20	57	33	6
Septiembre 2003	16	34	37	35	5
Octubre 2003	24	34	19	31	5
Noviembre 2003	47	36	12	50	6
Diciembre 2003	43	38	14	37	6
Promedio	23	32	37	34	7
Valor límite horario (*)		270 (250)			410 (350)
Valor límite 8 horas (*)			120		
Valor límite diario (*)				60 (50)	125
Valor límite anual (*)		54 (50)		43,2 (40)	
AÑO 2004					
Enero 2004	43	39	12	35	6
Febrero 2004	45	44	12	48	7
Marzo 2004	30	43	23	47	7
Abril 2004	15	32	36	30	6
Mayo 2004	12	28	42	31	6
Junio 2004	10	23	39	32	5
Julio 2004	11	23	33	31	5
Agosto 2004	10	21	33	30	5
Septiembre 2004	17	33	23	44	5
Octubre 2004	21	31	22	34	5
Noviembre 2004	42	35	11	46	6
Diciembre 2004	41	37	9	38	7
Promedio	25	32	25	37	6
Valor límite horario (*)		260 (250)			380 (350)
Valor límite 8 horas (*)			120		
Valor límite diario (*)				55 (50)	125
Valor límite anual (*)		52 (50)		41,6 (40)	

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

Patrones de variación

El estudio de los ciclos (diarios, semanales, estacionales, etc.) de los niveles 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 los meses, días de la semana y horas de cada día.

Variaciones mensuales

Los datos para los diferentes meses de los años 2003 y 2004 se presentan a continuación en las **Tablas V.2a a V.2l** y **V.3a a V.3l**, respectivamente. A continuación de las Tablas se muestran las figuras con la representación gráfica de las variaciones registradas (**Figuras V.1 y V.2**).

Tabla V.2a: Enero 2003

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	365	30	34	19	21	9
02:00	473	23	32	19	19	9
03:00	457	20	31	20	21	9
04:00	481	20	29	20	18	9
05:00	534	24	30	21	19	9
06:00	550	34	33	20	20	9
07:00	594	48	36	19	23	9
08:00	659	66	41	19	26	10
09:00	668	73	46	16	31	10
10:00	660	69	47	18	33	10
11:00	632	57	44	25	34	10
12:00	626	40	41	29	26	10
13:00	471	32	37	34	25	10
14:00	504	24	33	39	18	10
15:00	461	22	32	40	18	10
16:00	474	22	37	36	24	10
17:00	458	30	41	29	24	10
18:00	517	43	47	23	28	
19:00	527	46	50	16	27	9
20:00	532	48	48	16	24	9
21:00	492	49	45	18	22	9
22:00	462	45	44	17	23	9
23:00	385	38	40	17	24	9
00:00	358	34	39	17	20	9

Tabla V.2b: Febrero 2003

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	332	22	31	32	18	9
02:00	488	19	28	33	20	10
03:00	470	16	27	36	23	9
04:00	330	16	26	32	21	9
05:00	342	17	28	30	22	9
06:00	393	25	32	28	23	10
07:00	423	32	35	28	27	10
08:00	467	46	41	25	28	10
09:00	479	55	43	28	31	10
10:00	511	53	44	32	34	11
11:00	486	42	41	36	36	11
12:00	531	36	40	41	34	11
13:00	396	26	36	46	28	11
14:00	389	22	32	50	25	11
15:00	335	15	30	53	25	10
16:00	339	19	35	48	24	10
17:00	363	22	40	42	29	10
18:00	419	32	44	35	29	
19:00	424	37	46	31	29	10
20:00	426	43	45	31	25	11
21:00	413	36	41	32	24	10
22:00	398	32	38	32	23	10
23:00	339	31	35	32	22	10
00:00	333	29	34	29	19	10

Tabla V.2c: Marzo 2003

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	282	17	38	34	31	10
02:00	304	14	35	34	31	10
03:00	338	13	34	34	30	10
04:00	348	14	35	34	32	10
05:00	339	19	37	31	33	10
06:00	380	30	44	26	35	10
07:00	417	51	48	27	45	10
08:00	473	69	52	27	51	11
09:00	441	62	52	39	60	12
10:00	436	46	48	46	65	13
11:00	460	29	40	60	42	13
12:00	581	16	30	72	25	12
13:00	405	9	23	85	19	12
14:00	446	10	24	85	22	12
15:00	475	9	25	85	28	12
16:00	466	9	28	83	33	12
17:00	430	10	34	77	41	11
18:00	337	12	43	65	50	
19:00	316	15	53	49	45	11
20:00	342	32	64	33	43	11
21:00	316	34	62	28	43	11
22:00	290	31	57	26	42	10
23:00	260	25	50	27	38	10
00:00	246	21	43	30	33	11

Tabla V.2d: Abril 2003

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	232	10	31	37	22	7
02:00	242	9	29	40	21	7
03:00	249	10	27	38	20	7
04:00	256	14	30	36	20	7
05:00	272	20	35	32	20	7
06:00	267	28	42	25	26	7
07:00	286	35	44	28	27	8
08:00	317	37	44	31	26	8
09:00	338	33	43	42	32	9
10:00	341	17	35	59	26	9
11:00	383	12	29	72	19	9
12:00	373	9	23	81	15	8
13:00	305	8	21	85	18	8
14:00	319	8	19	89	25	8
15:00	355	8	20	89	18	8
16:00	370	8	21	90	21	8
17:00	375	10	28	83	25	8
18:00	357	12	35	71	31	
19:00	350	11	39	63	33	8
20:00	320	9	40	51	28	8
21:00	297	12	41	44	25	7
22:00	277	14	43	37	22	7
23:00	257	13	40	35	23	7
00:00	258	13	37	33	23	7

Tabla V.2e: Mayo 2003

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	143	7	24	32	15	7
02:00	187	7	22	31	17	7
03:00	194	8	21	28	17	7
04:00	185	11	22	25	16	7
05:00	182	18	27	20	19	7
06:00	223	31	35	14	23	7
07:00	266	34	38	19	29	7
08:00	328	36	42	26	42	8
09:00	355	23	36	43	36	9
10:00	334	16	29	56	24	9
11:00	354	12	24	66	19	8
12:00	386	8	19	76	17	8
13:00	247	9	19	79	15	8
14:00	255	7	17	84	16	8
15:00	258	7	16	87	18	8
16:00	283	7	17	89	21	8
17:00	307	6	17	90	25	8
18:00	307	6	21	84	27	
19:00	288	6	25	73	34	7
20:00	269	7	29	58	29	7
21:00	230	8	32	44	28	7
22:00	196	10	34	36	23	7
23:00	184	10	31	33	22	7
00:00	151	8	26	34	19	7

Tabla V.2f: Junio 2003

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	250	7	23	32	24	6
02:00	340	6	20	33	23	6
03:00	329	6	20	31	25	6
04:00	296	7	21	28	25	6
05:00	297	10	26	23	25	6
06:00	338	15	31	19	28	6
07:00	436	22	37	20	25	6
08:00	499	21	35	29	24	6
09:00	554	14	31	41	27	6
10:00	554	10	26	55	23	6
11:00	557	10	25	63	21	6
12:00	604	8	21	69	27	6
13:00	340	7	18	74	27	6
14:00	322	7	18	77	25	6
15:00	336	6	19	80	29	6
16:00	328	7	20	80	31	6
17:00	340	7	23	75	31	6
18:00	361	7	26	68	34	
19:00	296	6	27	59	44	6
20:00	270	6	28	52	40	6
21:00	236	8	30	44	35	6
22:00	198	7	30	37	34	6
23:00	171	10	29	34	30	6
00:00	156	8	25	34	24	6

Tabla V.2g: Julio 2003

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	241	7	22	27	21	5
02:00	299	8	23	23	19	5
03:00	287	8	21	22	17	5
04:00	267	10	21	19	18	5
05:00	270	15	24	15	18	5
06:00	322	21	29	10	20	5
07:00	351	26	33	13	19	5
08:00	436	20	31	25	25	6
09:00	465	13	26	39	22	6
10:00	463	9	21	52	15	6
11:00	472	7	18	62	16	6
12:00	476	7	15	73	16	6
13:00	323	6	15	80	21	6
14:00	303	6	13	84	23	6
15:00	316	6	13	84	25	6
16:00	329	6	14	82	25	6
17:00	303	6	15	78	26	6
18:00	296	5	15	72	28	
19:00	280	5	18	66	35	5
20:00	278	5	20	57	29	5
21:00	241	6	20	49	27	5
22:00	219	7	22	41	25	5
23:00	201	7	25	31	22	5
00:00	194	7	24	29	21	5

Tabla V.2h: Agosto 2003

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	303	7	21	27	24	5
02:00	425	7	20	26	26	5
03:00	414	7	19	24	24	5
04:00	407	9	21	18	23	5
05:00	408	15	23	15	24	5
06:00	408	21	26	12	25	6
07:00	403	23	28	10	26	6
08:00	530	23	28	18	25	6
09:00	681	16	28	32	25	6
10:00	719	9	21	56	22	6
11:00	676	7	15	78	12	9
12:00	669	6	13	95	18	6
13:00	399	5	12	104	18	6
14:00	341	5	12	108	24	6
15:00	390	5	12	110	29	6
16:00	416	5	13	109	31	6
17:00	366	6	14	108	32	6
18:00	350	6	17	98	36	
19:00	404	6	20	81	44	6
20:00	390	6	22	65	42	6
21:00	312	7	22	55	36	6
22:00	240	7	21	47	29	6
23:00	192	7	23	38	30	5
00:00	190	7	23	31	26	5

Tabla V.2i: Septiembre 2003

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	180	9	29	21	25	4
02:00	238	8	28	21	24	5
03:00	263	9	27	22	26	5
04:00	297	11	30	20	24	5
05:00	312	18	36	14	27	5
06:00	330	28	40	13	32	5
07:00	327	49	44	9	40	5
08:00	364	54	46	11	39	5
09:00	356	43	44	23	49	6
10:00	343	22	37	39	43	6
11:00	383	13	30	53	19	7
12:00	433	9	23	66	15	7
13:00	283	9	22	69	23	7
14:00	251	7	19	79	17	6
15:00	268	7	21	78	19	6
16:00	279	9	24	75	27	6
17:00	281	7	29	68	29	6
18:00	267	8	36	53	38	
19:00	245	11	43	39	36	5
20:00	247	15	48	26	34	5
21:00	196	14	42	25	32	5
22:00	209	14	42	21	27	5
23:00	169	11	37	18	29	5
00:00	204	10	33	21	29	4

Tabla V.2j: Octubre 2003

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	274	14	26	18	16	4
02:00	261	12	24	17	18	4
03:00	273	12	25	17	16	4
04:00	280	14	26	14	17	4
05:00	315	21	31	11	16	4
06:00	339	30	36	7	21	5
07:00	337	41	37	8	27	5
08:00	322	52	38	10	30	5
09:00	372	49	38	11	34	5
10:00	403	42	37	17	33	5
11:00	421	30	34	26	34	5
12:00	447	19	29	35	28	5
13:00	346	14	27	37	21	5
14:00	521	12	26	39	19	5
15:00	565	13	28	39	19	5
16:00	537	14	32	37	26	5
17:00	544	16	39	27	29	5
18:00	579	24	45	15	28	
19:00	566	27	47	8	27	5
20:00	608	29	45	7	23	5
21:00	567	25	39	10	27	5
22:00	522	23	36	10	21	5
23:00	477	18	31	15	19	4
00:00	459	16	28	15	18	4

Tabla V.2k: Noviembre 2003

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	370	38	30	10	29	5
02:00	393	30	29	11	35	5
03:00	429	24	27	13	34	6
04:00	429	25	26	13	42	5
05:00	307	27	26	13	44	5
06:00	309	39	31	10	41	5
07:00	400	59	35	6	51	6
08:00	429	79	39	6	47	6
09:00	451	80	42	7	56	7
10:00	448	64	42	11	65	7
11:00	495	51	40	14	68	8
12:00	688	38	39	18	56	8
13:00	668	25	36	22	47	8
14:00	776	20	33	26	32	7
15:00	917	20	33	25	31	7
16:00	1092	26	37	21	39	6
17:00	952	39	43	13	42	6
18:00	969	56	45	10	42	
19:00	981	72	47	8	43	6
20:00	735	75	45	7	41	6
21:00	666	72	42	6	50	6
22:00	679	64	39	7	43	6
23:00	646	57	36	8	37	6
00:00	504	48	34	8	32	5

Tabla V.2l: Diciembre 2003

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	339	32	34	14	21	5
02:00	312	25	31	15	23	6
03:00	289	23	29	15	23	6
04:00	293	22	28	15	22	5
05:00	261	26	29	15	23	5
06:00	333	32	32	14	26	5
07:00	366	44	36	12	28	5
08:00	436	58	40	10	38	6
09:00	471	67	43	10	41	6
10:00	495	67	43	12	43	6
11:00	485	60	43	13	46	6
12:00	437	45	38	20	41	7
13:00	425	40	36	21	38	6
14:00	459	32	34	23	32	6
15:00	411	28	35	24	28	6
16:00	416	33	40	17	31	6
17:00	473	38	44	14	32	6
18:00	540	52	46	9	32	
19:00	578	68	48	8	34	6
20:00	537	63	45	9	31	6
21:00	504	54	44	7	29	6
22:00	465	49	41	8	25	6
23:00	387	45	38	11	26	6
00:00	352	40	35	12	22	6

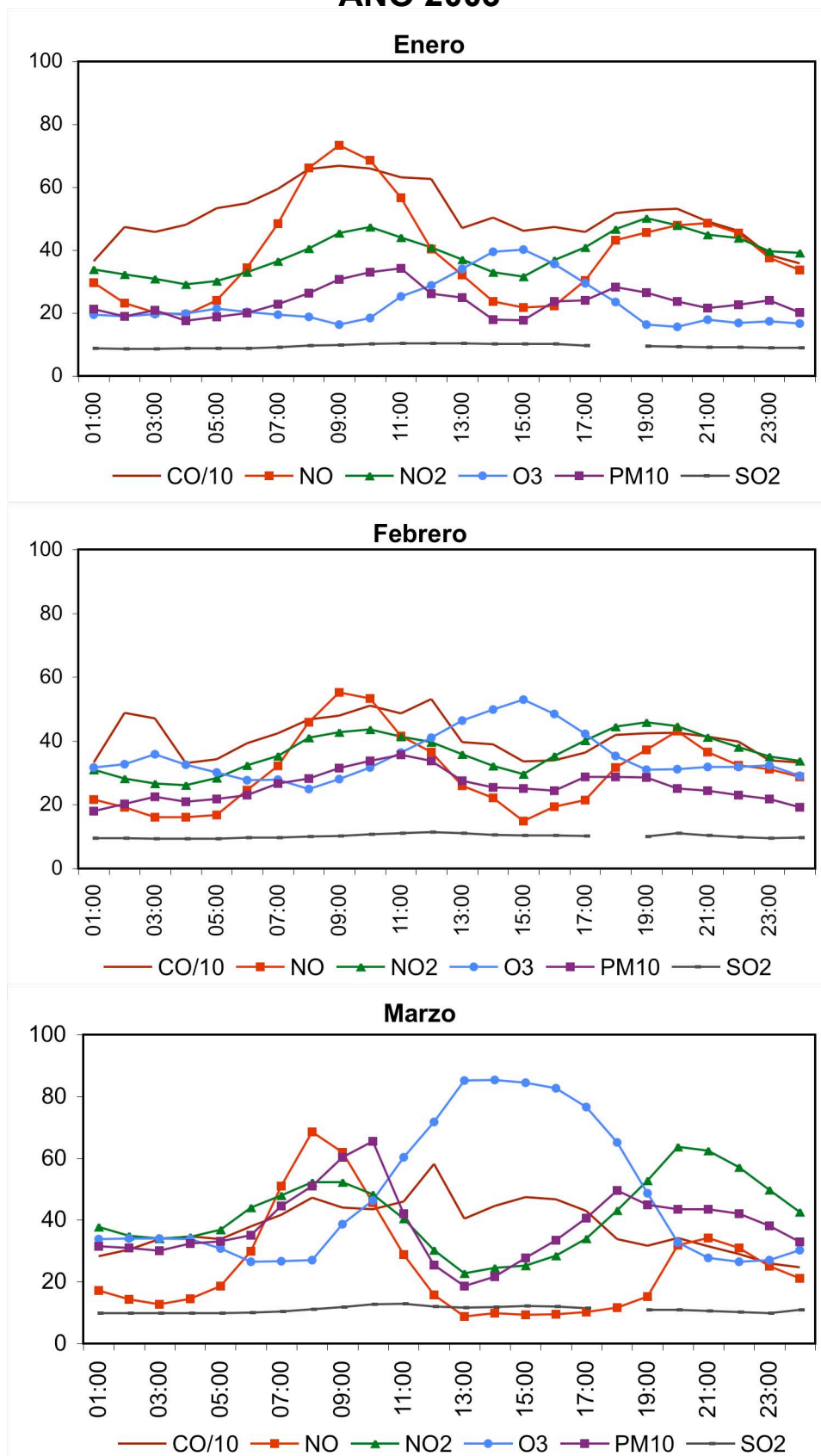
AÑO 2003

Figura V.1. Variaciones mensuales de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Beasain durante el año 2003. Meses de Enero, Febrero y Marzo.

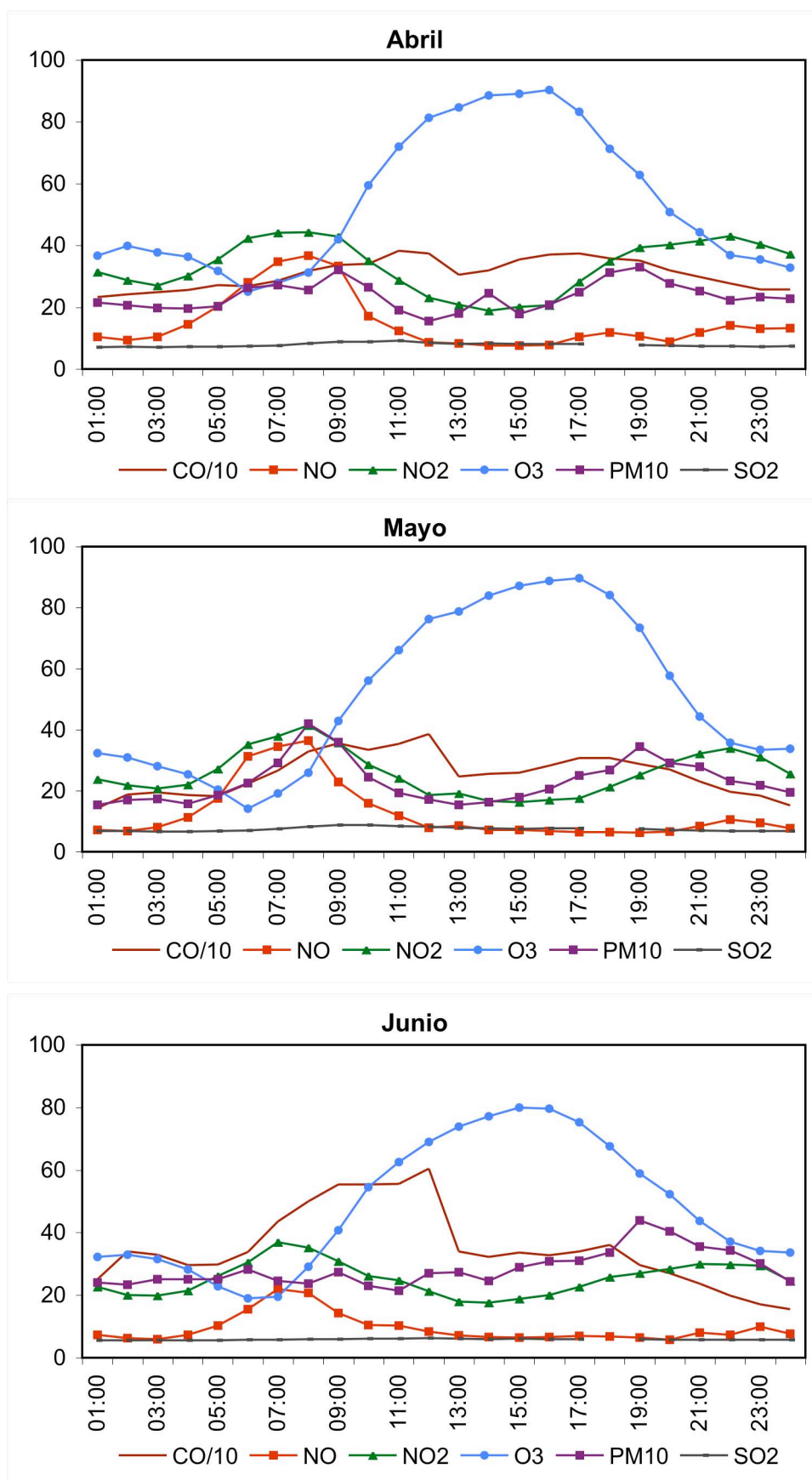


Figura V.1 (2003 continuación). Variaciones mensuales de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Beasain durante el año 2003. Meses de Abril, Mayo y Junio.

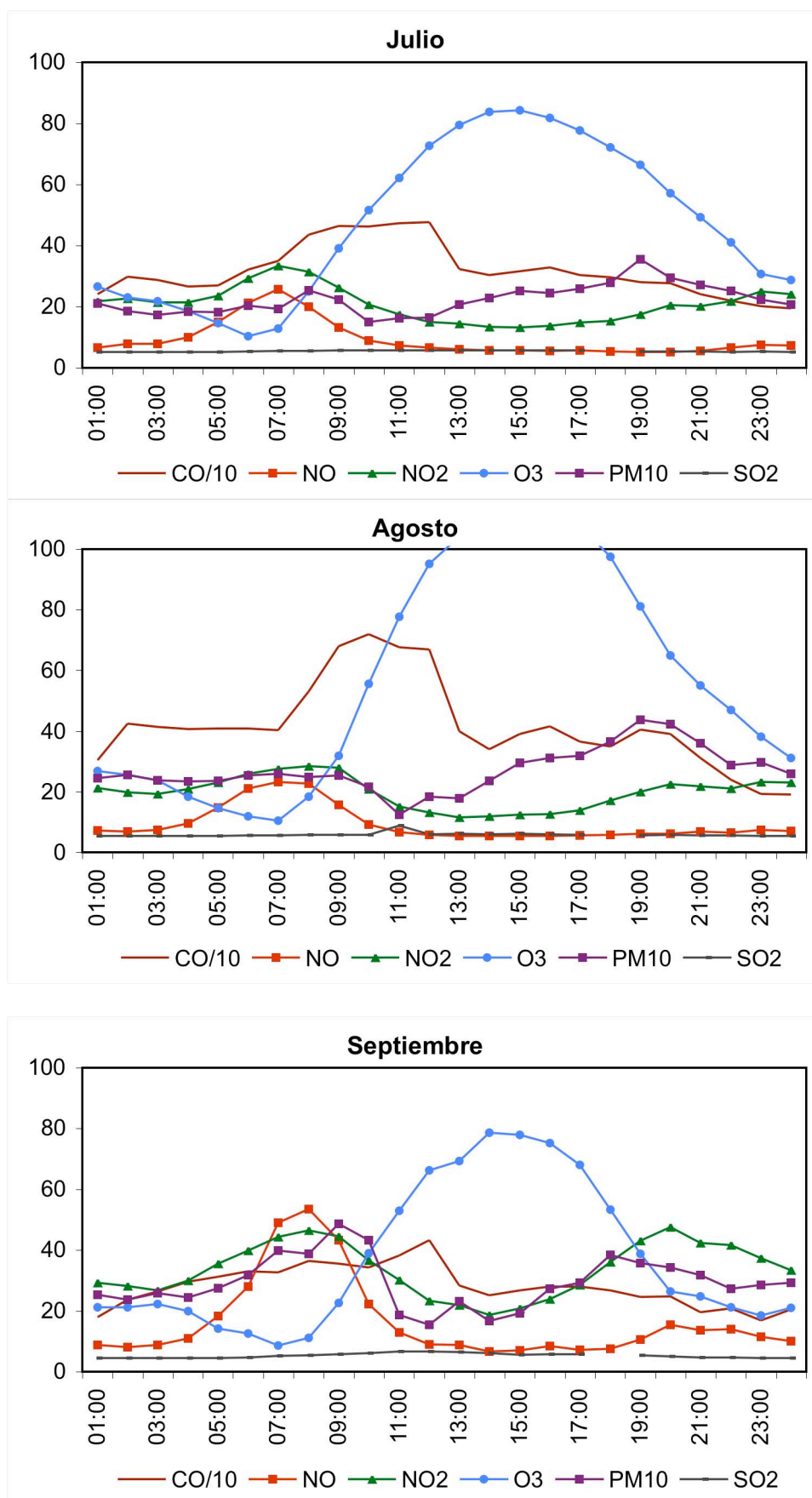


Figura V.1 (2003 continuación). Variaciones mensuales de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Beasain durante el año 2003. Meses de Julio, Agosto y Septiembre.

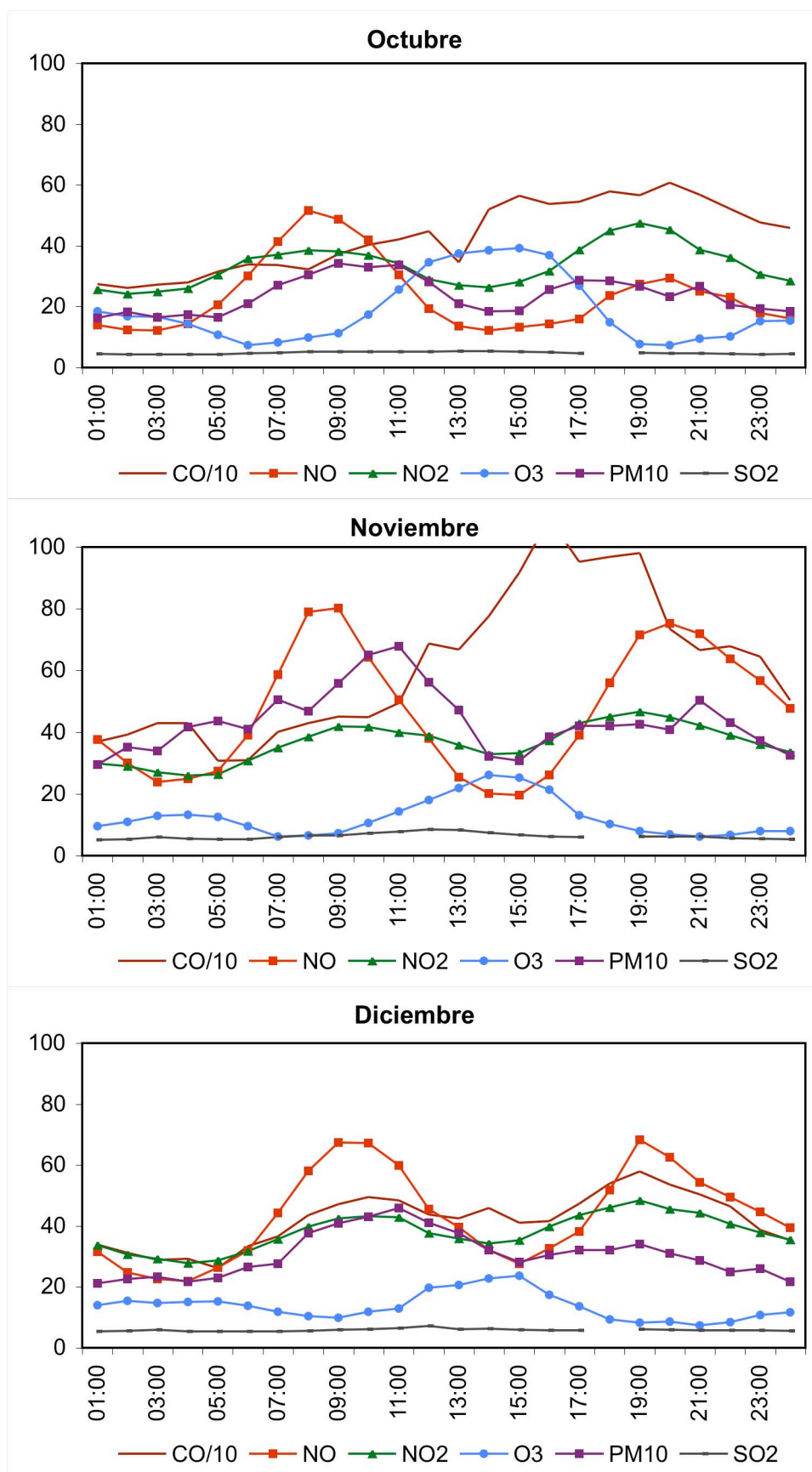


Figura V.1 (2003 continuación). Variaciones mensuales de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Beasain durante el año 2003. Meses de Octubre, Noviembre y Diciembre.

Tabla V.3a: Enero 2004

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂	Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	313	27	32	10	23	5	01:00	359	36	40	5	33	6
02:00	266	22	31	9	20	5	02:00	349	29	38	5	32	6
03:00	256	20	28	12	20	5	03:00	306	27	36	6	32	6
04:00	275	19	28	12	22	5	04:00	294	27	36	6	34	6
05:00	254	22	30	12	23	5	05:00	298	30	36	4	36	6
06:00	344	39	33	10	24	5	06:00	388	42	38	6	40	7
07:00	414	58	39	9	25	6	07:00	438	56	42	5	47	7
08:00	445	74	45	8	33	6	08:00	456	78	47	4	54	7
09:00	452	80	46	8	37	6	09:00	471	85	50	4	59	8
10:00	471	71	46	8	41	6	10:00	506	81	52	7	66	8
11:00	452	62	46	11	46	6	11:00	501	53	49	12	68	8
12:00	417	44	42	14	39	6	12:00	471	29	44	20	43	7
13:00	401	30	37	18	32	6	13:00	460	20	36	27	30	7
14:00	375	23	36	19	26	6	14:00	434	20	35	31	24	6
15:00	345	24	36	20	24	6	15:00	415	18	34	32	23	6
16:00	374	33	41	17	28	6	16:00	452	22	38	31	26	6
17:00	405	41	44	15	29	5	17:00	505	31	45	24	35	7
18:00	490	54	44	15	32		18:00	554	34	50	17	40	
19:00	501	60	47	11	31	6	19:00	621	56	56	9	42	6
20:00	504	62	47	10	32	6	20:00	567	74	58	6	42	7
21:00	464	53	45	8	29	6	21:00	518	74	54	6	42	7
22:00	457	51	42	9	28	6	22:00	459	63	49	8	38	7
23:00	391	35	38	10	24	5	23:00	406	52	46	7	33	6
00:00	321	29	35	10	22	5	00:00	369	44	44	6	31	6

Tabla V.3b: Febrero 2004**Tabla V.3c: Marzo 2004**

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂	Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	373	23	41	13	29	6	01:00	208	13	30	21	22	5
02:00	380	19	38	13	29	6	02:00	240	11	29	22	21	5
03:00	371	18	37	13	28	6	03:00	215	11	30	22	22	5
04:00	343	18	35	13	32	6	04:00	237	15	33	20	23	5
05:00	320	26	37	11	34	6	05:00	289	22	36	20	28	5
06:00	406	39	40	9	35	7	06:00	332	32	42	15	30	5
07:00	429	52	45	8	46	7	07:00	373	40	48	13	37	6
08:00	456	64	51	8	56	7	08:00	359	36	48	17	38	6
09:00	531	66	52	9	65	8	09:00	355	27	44	27	41	7
10:00	535	55	52	16	78	8	10:00	361	15	34	40	29	7
11:00	493	33	44	29	62	8	11:00	358	10	26	51	16	7
12:00	484	23	38	39	41	7	12:00	384	9	22	57	18	6
13:00	528	18	34	44	40	7	13:00	393	8	21	61	19	6
14:00	521	15	29	50	33	7	14:00	357	7	18	65	17	6
15:00	462	11	27	52	32	6	15:00	345	7	19	66	19	6
16:00	441	12	31	49	28	6	16:00	304	8	21	64	21	6
17:00	483	13	36	45	32	6	17:00	313	9	25	57	21	6
18:00	521	18	43	36	38	6	18:00	339	8	27	55	23	6
19:00	536	23	50	25	38	6	19:00	347	9	34	46	29	6
20:00	531	30	55	17	36	7	20:00	335	12	38	37	26	5
21:00	528	34	56	13	36	7	21:00	298	15	38	31	26	
22:00	485	38	55	10	36	6	22:00	296	18	42	24	30	5
23:00	454	33	50	11	32	6	23:00	278	14	38	21	24	5
00:00	420	26	44	12	31	6	00:00	270	13	34	20	23	5

Tabla V.3d: Abril 2004

Tabla V.3e: Mayo 2004

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂	Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	236	8	28	24	20	5	01:00	202	7	23	22	24	5
02:00	209	7	26	22	21	5	02:00	192	7	22	21	22	5
03:00	265	8	26	23	22	5	03:00	184	7	23	18	22	5
04:00	268	12	29	21	22	5	04:00	181	9	24	15	23	5
05:00	259	18	33	18	23	5	05:00	175	16	27	11	22	5
06:00	325	26	38	14	28	5	06:00	220	24	32	9	27	5
07:00	337	31	41	17	30	5	07:00	249	30	37	10	24	5
08:00	356	31	43	23	40	6	08:00	273	27	39	17	39	5
09:00	328	19	38	34	42	7	09:00	245	17	32	31	38	6
10:00	304	12	30	50	26	7	10:00	234	10	24	45	22	6
11:00	278	9	22	61	16	6	11:00	242	7	18	54	18	6
12:00	238	7	18	68	17	7	12:00	275	7	16	62	18	6
13:00	243	6	16	72	18	6	13:00	291	6	15	66	20	5
14:00	262	6	15	72	16	6	14:00	317	6	14	69	20	5
15:00	273	6	17	72	20	6	15:00	351	6	15	68	25	5
16:00	325	7	20	71	23	6	16:00	384	6	16	68	26	5
17:00	316	7	21	70	29	6	17:00	385	6	17	65	30	5
18:00	278	8	25	65	29	6	18:00	322	6	19	60	34	5
19:00	243	8	30	55	32	6	19:00	306	6	22	54	37	5
20:00	228	8	35	43	32	5	20:00	288	6	22	48	32	5
21:00	233	8	35	35	31	5	21:00	284	7	23	40	31	5
22:00	242	10	34	28	28	5	22:00	282	7	27	31	28	5
23:00	210	10	34	22	27	5	23:00	244	7	28	27	29	5
00:00	202	9	30	25	24	5	00:00	235	7	25	23	27	5

Tabla V.3f: Junio 2004**Tabla V.3g: Julio 2004**

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂	Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	231	7	25	16	21	4	01:00	176	7	21	21	20	5
02:00	206	7	24	15	21	5	02:00	152	7	20	18	18	5
03:00	172	8	23	14	22	5	03:00	170	7	20	16	18	5
04:00	179	11	24	12	20	5	04:00	171	8	20	15	18	5
05:00	174	17	27	8	23	5	05:00	161	11	22	11	20	5
06:00	171	25	29	6	25	5	06:00	163	18	27	9	20	5
07:00	227	31	33	7	26	5	07:00	212	26	31	9	28	5
08:00	284	31	34	12	26	5	08:00	216	25	30	13	31	5
09:00	291	21	32	21	27	5	09:00	239	22	29	22	26	5
10:00	264	12	25	34	23	5	10:00	246	12	24	33	24	5
11:00	275	9	20	45	19	5	11:00	272	9	19	43	15	6
12:00	304	7	17	53	20	5	12:00	299	7	15	51	16	6
13:00	338	7	16	58	22	5	13:00	255	6	13	54	17	6
14:00	382	7	17	60	26	5	14:00	255	7	15	56	20	6
15:00	406	7	17	61	32	5	15:00	257	7	15	58	25	5
16:00	433	6	16	62	30	5	16:00	319	6	15	57	30	5
17:00	400	6	17	58	36	5	17:00	313	6	16	55	59	5
18:00	323	6	17	56	34	5	18:00	288	6	18	50	30	5
19:00	290	6	22	49	40	5	19:00	266	7	22	43	38	5
20:00	295	6	23	41	34	5	20:00	246	7	22	40	32	5
21:00	243	6	23	34	30	5	21:00	221	6	20	35	26	5
22:00	218	9	26	27	27	5	22:00	220	7	23	29	23	5
23:00	199	8	27	21	28	5	23:00	232	7	23	25	24	5
00:00	201	8	27	16	24	5	00:00	221	7	22	22	23	5

Tabla V.3h: Agosto 2004

Tabla V.3i: Septiembre 2004

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	221	10	29	14	31	5
02:00	225	9	27	12	29	5
03:00	229	9	25	12	30	5
04:00	220	12	27	11	29	4
05:00	225	18	31	9	33	5
06:00	241	28	34	6	37	5
07:00	256	43	38	4	44	5
08:00	331	47	43	5	47	5
09:00	361	41	44	11	50	5
10:00	356	31	41	21	51	5
11:00	359	19	35	31	28	5
12:00	363	11	27	41	23	5
13:00	367	9	24	45	25	5
14:00	350	8	21	50	27	5
15:00	382	9	25	49	35	5
16:00	384	12	31	46	42	5
17:00	341	11	35	43	45	5
18:00	355	10	38	35	52	5
19:00	341	10	39	30	50	5
20:00	310	13	42	24	40	5
21:00	256	14	40	17	36	5
22:00	249	15	39	15	33	5
23:00	221	12	34	15	31	5
00:00	245	11	31	14	33	5

Tabla V.3j: Octubre 2004

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	281	11	24	22	32	4
02:00	263	10	22	22	26	4
03:00	321	9	21	22	24	4
04:00	275	11	23	20	24	4
05:00	306	17	28	15	22	4
06:00	250	29	33	13	30	5
07:00	263	43	38	11	37	5
08:00	274	51	40	11	39	5
09:00	255	42	38	15	34	5
10:00	261	28	33	22	27	5
11:00	234	22	30	27	19	5
12:00	262	17	28	31	22	5
13:00	284	13	27	34	21	5
14:00	277	12	27	37	21	5
15:00	281	15	32	33	25	5
16:00	307	16	36	30	30	5
17:00	325	19	39	25	38	5
18:00	330	22	40	21	41	5
19:00	401	24	40	17	33	5
20:00	362	26	36	19	32	5
21:00	345	20	33	18	26	5
22:00	306	20	31	20	25	5
23:00	306	15	29	19	25	5
00:00	282	11	26	20	26	5

Tabla V.3k: Noviembre 2004

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	422	28	28	9	26	5
02:00	447	25	27	10	25	5
03:00	462	24	26	10	29	5
04:00	460	23	24	12	29	5
05:00	390	26	25	12	30	5
06:00	424	33	29	10	36	5
07:00	510	43	33	7	39	6
08:00	535	60	38	5	45	6
09:00	506	60	39	6	50	6
10:00	554	57	39	9	50	6
11:00	546	53	39	11	51	7
12:00	507	44	37	15	44	7
13:00	414	32	35	20	48	7
14:00	346	23	33	22	30	7
15:00	395	23	35	21	31	7
16:00	476	32	40	16	40	6
17:00	513	43	41	12	47	6
18:00	588	54	44	8	51	6
19:00	632	59	43	6	44	6
20:00	657	67	42	6	40	6
21:00	655	61	38	6	39	6
22:00	538	50	36	6	38	6
23:00	557	40	32	8	32	6
00:00	490	36	30	8	26	5

Tabla V.3l: Diciembre 2004

Hora	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
01:00	335	30	31	8	23	6
02:00	306	25	28	10	24	6
03:00	311	25	28	10	21	6
04:00	320	25	28	9	22	6
05:00	334	29	29	7	25	6
06:00	360	36	31	6	27	6
07:00	444	46	34	4	30	6
08:00	467	59	38	4	39	6
09:00	489	69	40	5	44	7
10:00	469	72	43	5	47	7
11:00	433	59	42	9	45	7
12:00	392	47	39	13	39	8
13:00	365	31	36	16	33	8
14:00	314	26	36	17	26	8
15:00	325	25	36	19	27	8
16:00	370	30	39	14	33	7
17:00	443	42	44	8	37	7
18:00	482	51	46	5	40	7
19:00	490	51	43	7	36	7
20:00	484	53	44	5	35	7
21:00	464	49	41	6	32	
22:00	418	42	37	9	30	6
23:00	356	37	34	9	26	6
00:00	344	33	33	7	25	6

AÑO 2004

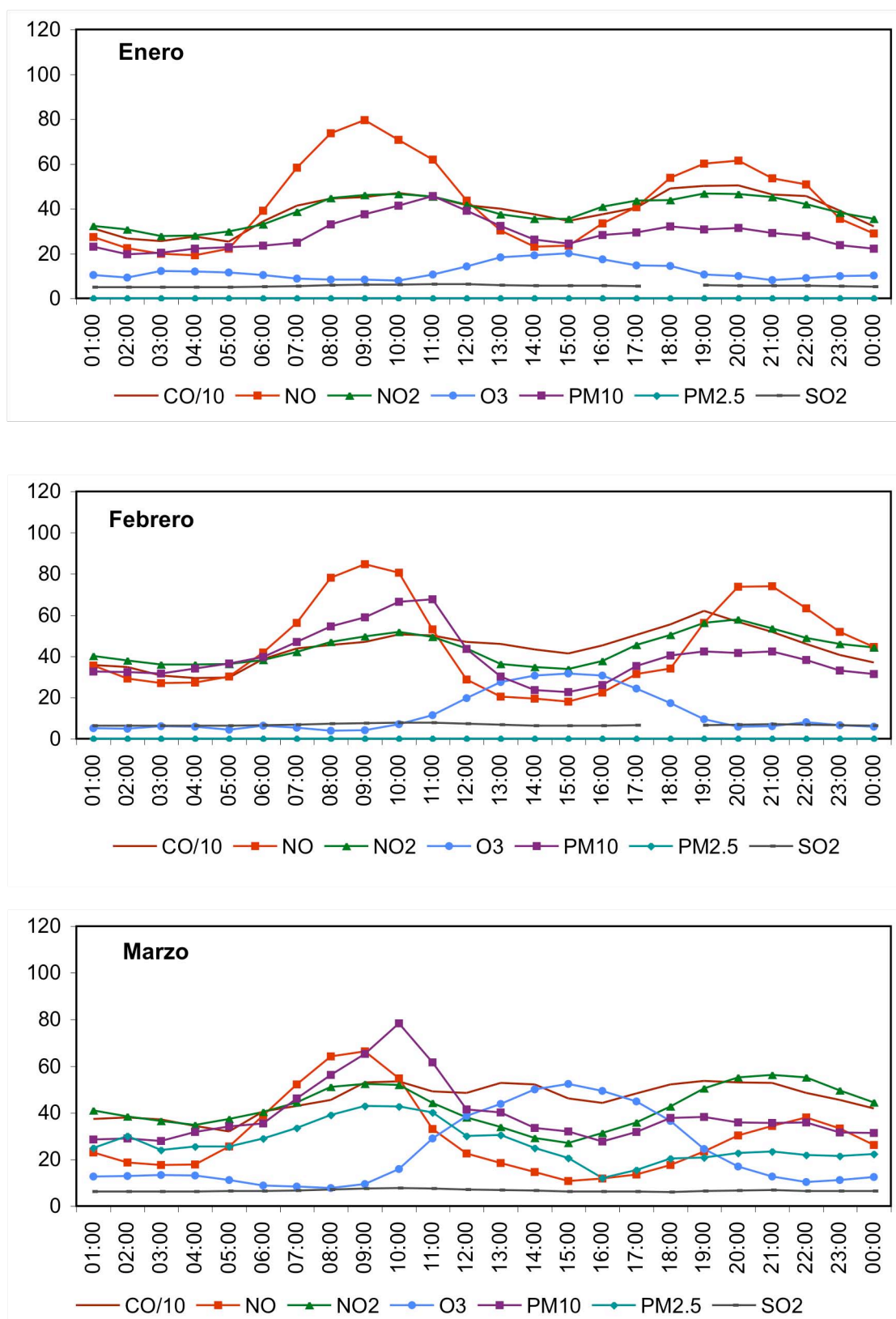


Figura V.2. Variaciones mensuales de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Beasain durante el año 2004. Meses de Enero, Febrero y Marzo.

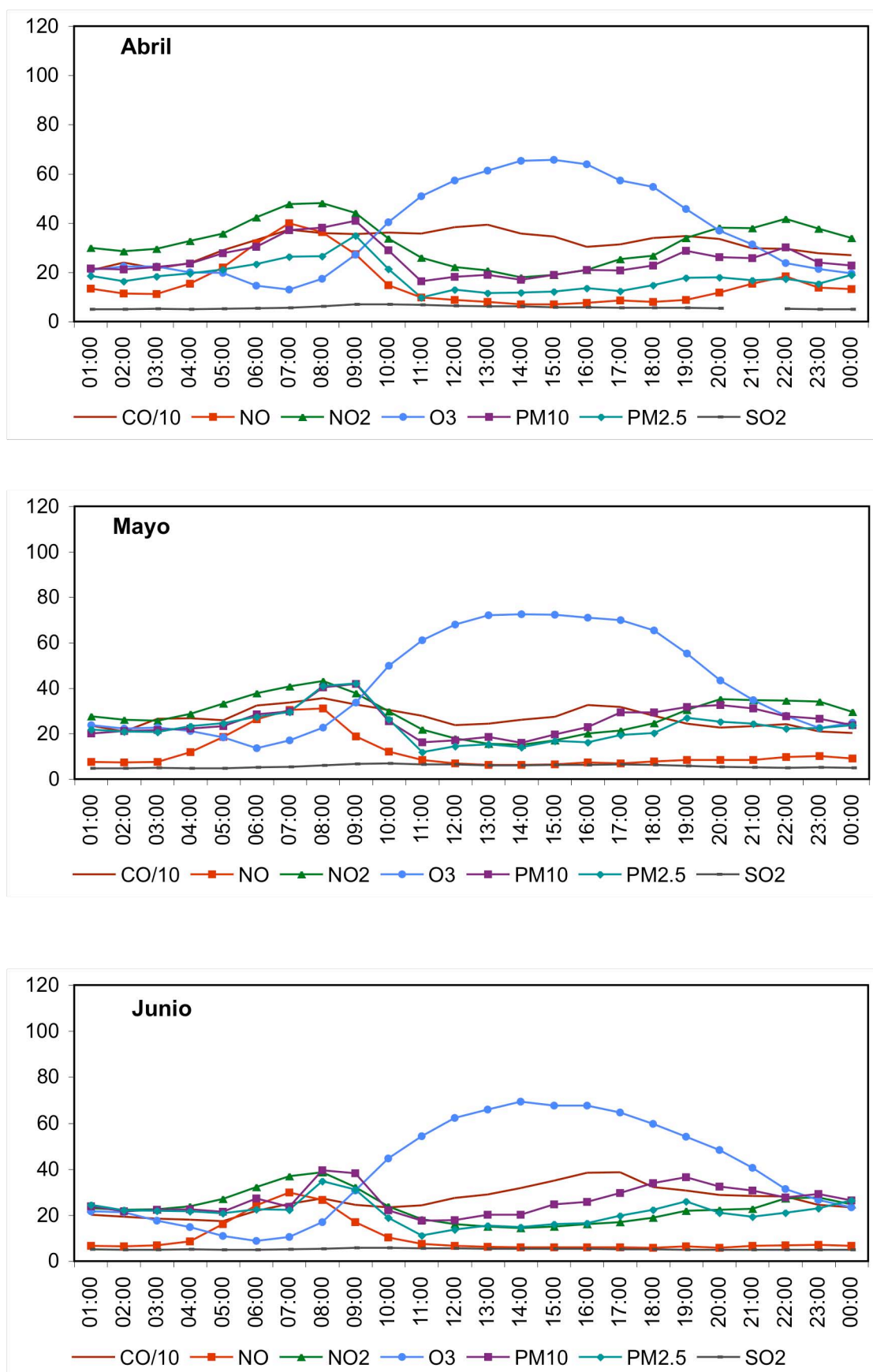


Figura V.2 (continuación). Variaciones mensuales de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Beasain durante el año 2004. Meses de Abril, Mayo y Junio.

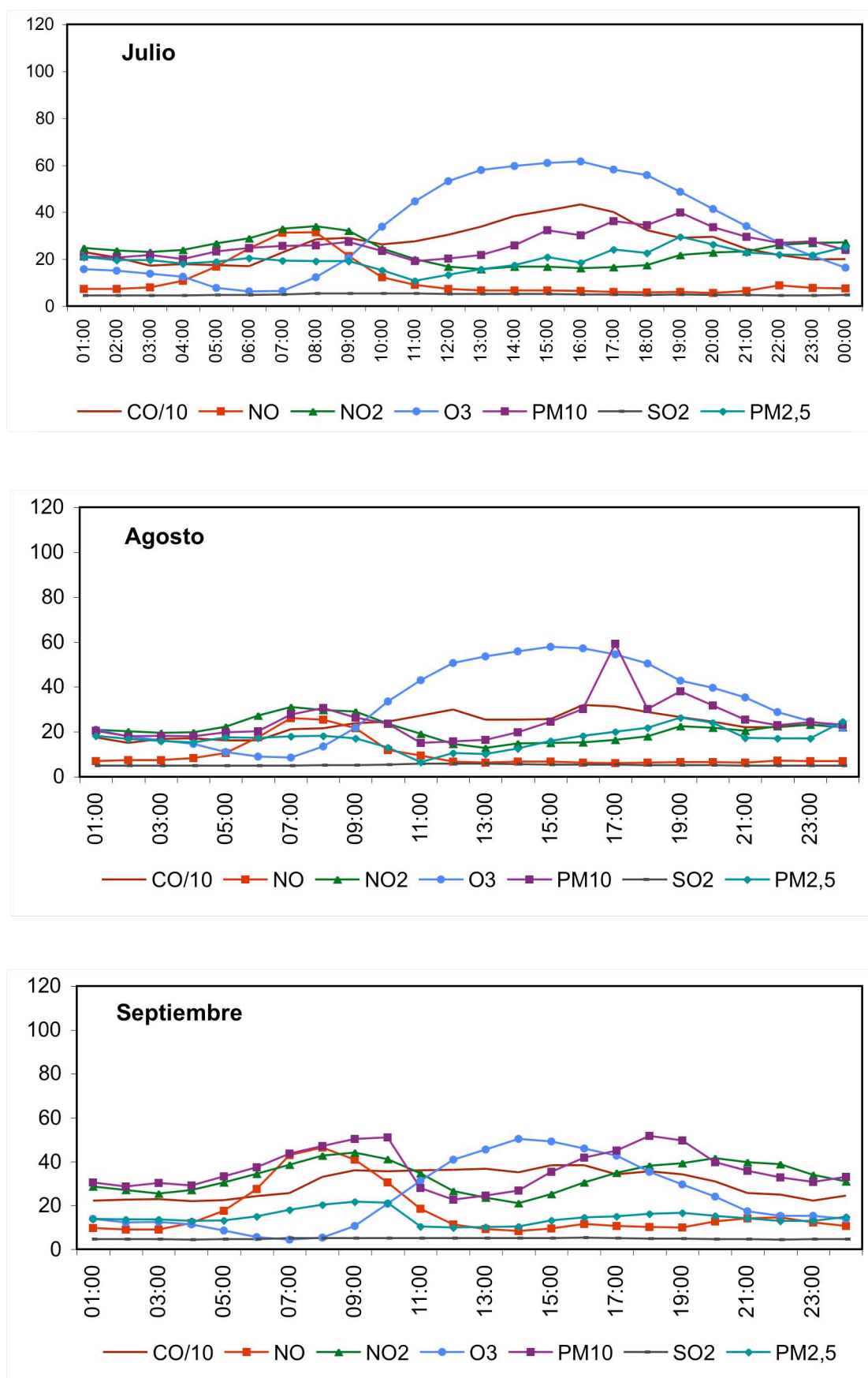


Figura V.2 (continuación). Variaciones mensuales de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Beasain durante el año 2004. Meses de Julio, Agosto y Septiembre.

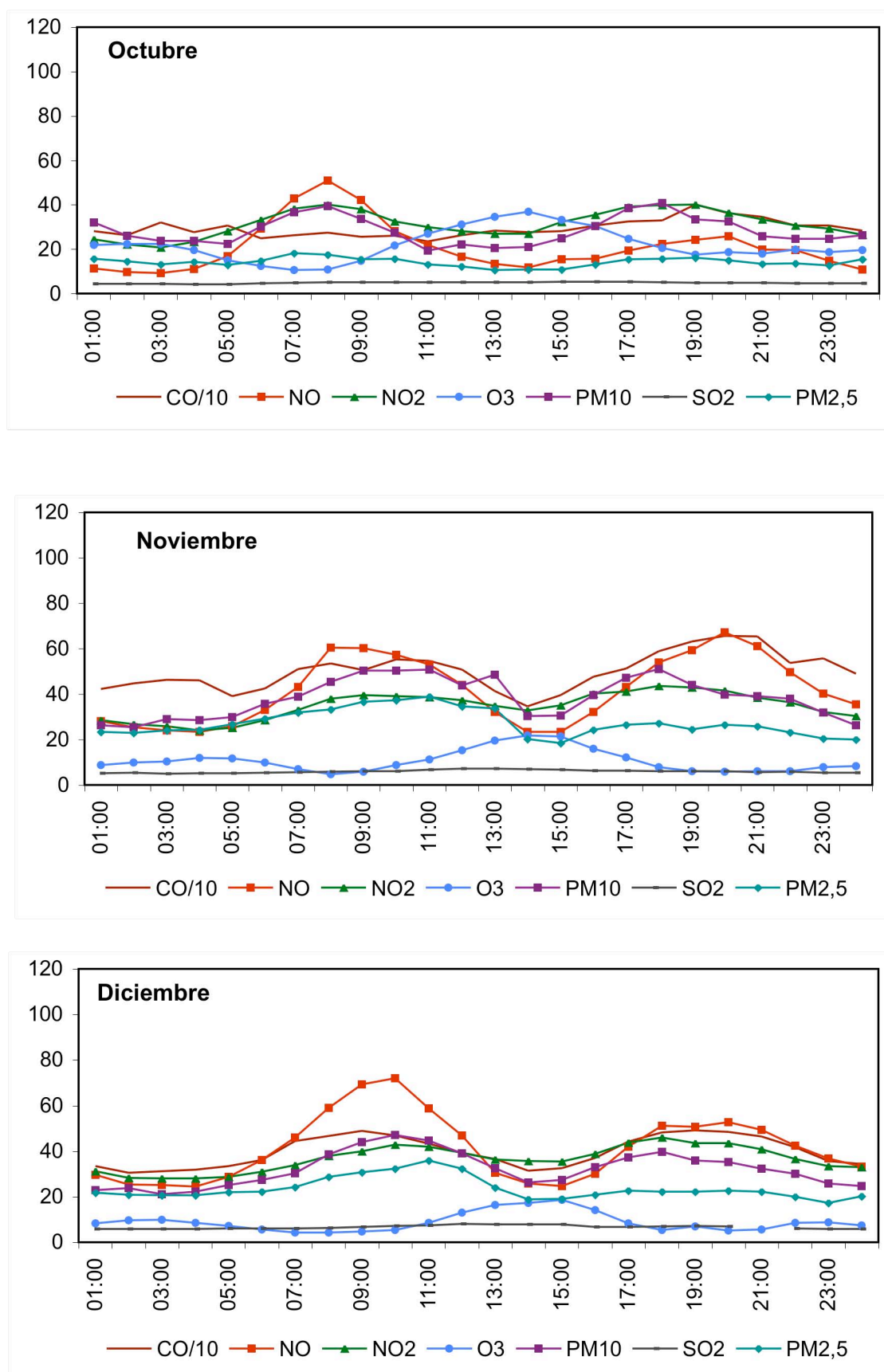


Figura V.2 (continuación). Variaciones mensuales de PM10 y contaminantes gaseosos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medidos en la estación de Beasain durante el año 2004. Meses de Octubre, Noviembre y Diciembre.

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

- **NO:** El valor promedio ha sido de $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO para el 2003 y de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el 2004, con valores medios mensuales bastante variables que oscilaron entre los 47, en Noviembre de 2003, y los aproximadamente 9, registrados durante los meses de Junio, Julio y Agosto del mismo año, mientras que en el 2004 los valores oscilaron entre 45 para el mes de Febrero y 10 durante los meses de Junio y Agosto.

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. Los datos expuestos en las Tablas V.1 a V.3, así como en las figuras precedentes indican un aumento substancial durante los meses más fríos y una reducción clara durante los meses cálidos por lo que los contenidos en NO podrían estar relacionados con la combustión por calefacciones además de con el tráfico local.

- **NO₂:** El valor promedio obtenido tanto durante el 2003 como el 2004 fue de $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con oscilaciones significativas pero menos acusadas que en el caso del NO. Los valores máximos, por encima de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se registraron durante los meses de Marzo del 2003 y Febrero y Marzo de 2004, mientras que los mínimos, con valores de ca. 20 y $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ correspondieron a los meses de Julio y Agosto de 2003, y Agosto de 2004.

Como es sabido, 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 y las industrias, los responsables de la mayor parte de las emisiones urbanas. Se emiten mayormente en forma de NO que se oxida rápidamente a NO₂.

En el caso presente, los valores para el NO₂ presentan oscilaciones moderadas que indican una fuente permanente de este óxido, con una

disminución significativa durante los meses de las vacaciones de Verano (Junio a Agosto) y valores más altos durante el resto del año. 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.

- **O₃:** El O₃ presenta un valor medio de 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el 2003 y de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el 2004, correspondiendo el valor medio más alto en el año 2003 al mes de Agosto (57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, aunque con valores también muy altos durante los meses de Abril, 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y Mayo, 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y el más bajo al mes de Noviembre (12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que en el 2004 el máximo fue en Mayo (42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y el mínimo en Diciembre (9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Los valores más bajos se registraron durante los meses de Invierno. Se trata tanto de cantidades 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.

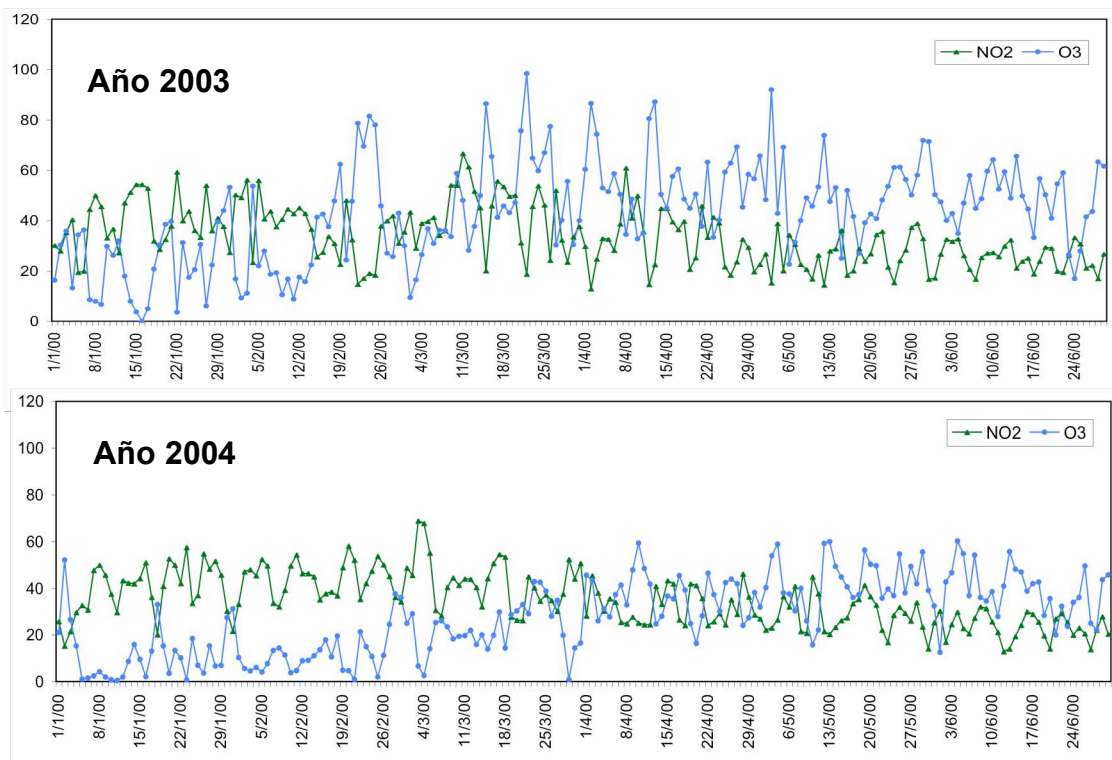


Figura V.3. Evolución mensual de los niveles medios diarios de O₃ y NO₂ medidos en la estación de Beasain durante los años 2003 y 2004.

Los niveles de NO_2 y O_3 presentan una tendencia estacional propia de entornos urbanos. La **Figura V.3** muestra, en particular para el año 2004, cómo durante el invierno las mayores tasas de emisión y las menores condiciones dispersivas de la atmósfera favorecen la acumulación de contaminantes como el NO_2 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 O_3 .

En las **Figuras V.1 y V.2** puede apreciarse también 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 al tráfico o una fuente industrial local que contamine en óxidos de nitrógeno. Además, se aprecia perfectamente que durante los meses de invierno hay un segundo pico de ambos contaminantes por las tardes, en torno a las 20 horas (hora solar). 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 . La tendencia que muestran el NO y el NO_2 es por tanto globalmente inversa a la del O_3 .

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, ya sea en Europa o en la propia Comunidad Autónoma del País Vasco (Alonso et al., 2000, Gangoiti et al., 2002; informes previos sobre Abanto, Llodio y Basauri).

- **PM10:** El valor promedio registrado a partir de los datos aportados por el medidor Beta instalado en la estación ha sido de $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 en el año 2003 y $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el 2004, con oscilaciones moderadas presentando valores medios mensuales que oscilan entre los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de Noviembre y 27 en Julio para el 2003, y los $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de Febrero y 30 en Agosto de 2004.

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

- **SO₂:** El SO₂ presenta valores medios bajos para todo el periodo de muestreo, en torno a 7 µg/m³ para el año 2003 y 6 µg/m³ para el año 2004.

En las figuras anteriores puede apreciarse cómo los niveles tanto de PM10 como de SO₂ se mantienen bastante constantes a lo largo del día.

Variaciones diarias

En las **Tablas V.4 y V.5** 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 de los años 2003 y 2004.

Podemos observar cómo los valores mínimos para la mayoría de los contaminantes (NO₂, NO, PM10, SO₂), tanto durante el 2003 como el 2004, 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.

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.

En las **Figuras V.4 y V.5** se han representado, para cada uno de los días de la semana, las concentraciones medias horarias de contaminantes. Observando las Figuras, resultan muy llamativas y se observan inmediatamente las diferencias existentes entre los días laborables y los fines de semana, especialmente el domingo.

Así, podemos comprobar cómo, en general, de lunes a viernes, entre las 7 y las 8 (GMT), es decir entre las 8-9 y las 9-10 hora local, se registra el máximo de NO. Aunque no tan bien definido, es frecuente la aparición de un segundo pico de NO a partir de las 19 (GMT). Como ya se ha indicado, 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 y calefacciones domésticas.

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 Beasain 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.

El NO₂ muestra una evolución muy similar a la registrada por el NO aunque generalmente con niveles más bajos; los niveles elevados puntuales de NO₂ corresponden probablemente a la ausencia de renovación de la atmósfera (masas de aire envejecidas).

Los niveles de PM10 presentan un comportamiento acorde con lo indicado para el NO, con un máximo claro por las mañanas los días laborables, que se solapa con el del NO, e incluso, en ocasiones, un segundo pico menor por las tardes, junto con ausencia de picos durante los fines de semana.

El O₃ aumenta progresivamente a partir de las 11 horas (GMT) y alcanza el máximo hacia las 13 horas, reduciéndose su nivel progresivamente al atardecer. Tal como se observa en las **Figuras V.4 y V.5**, este comportamiento, debido principalmente a la mayor radiación solar, se aprecia preferentemente durante el segundo y tercer trimestre tanto del año 2003 como del 2004. Lo indicado se debe a que, con aumento de la radiación solar, comienza a formarse fotoquímicamente el O₃ el cual reacciona con el NO produciéndose una disminución paulatina de este contaminante. Como se observa en las **Figuras V.4 y V.5**, el máximo de NO coincide con el mínimo de O₃. Esta relación inversa entre NO y O₃ queda patente, además, en el hecho de que los valores más altos de O₃ se registran los fines de semana coincidiendo con los menores valores de NO.

El SO₂ 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.

Las variaciones diarias señaladas son coherentes en cuanto a la evolución horaria de los niveles de contaminantes con lo que se muestra en las **Figuras V.1 y V.2** expuestas previamente para los diferentes meses y que se presentan junto con las Tablas de datos.

Tabla V.4. *Concentraciones medias de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados en la estación de Beasain para cada uno de los días de la semana del año 2003.*

Enero - Marzo 2003

	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
Lunes	481	34	40	35	27	10
Martes	426	37	40	37	30	11
Miércoles	430	39	46	31	33	11
Jueves	478	35	42	30	34	10
Viernes	443	34	42	31	36	10
Sábado	381	23	34	37	25	10
Domingo	409	19	29	43	21	10

Abril - Junio 2003

	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
Lunes	279	10	26	55	21	7
Martes	360	15	31	49	25	7
Miércoles	279	15	34	45	26	7
Jueves	279	14	31	49	27	7
Viernes	346	14	31	51	29	7
Sábado	289	10	26	51	26	7
Domingo	296	7	19	58	21	7

Julio - Septiembre 2003

	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
Lunes	381	38	27	46	25	6
Martes	352	10	26	48	27	6
Miércoles	328	14	26	43	30	6
Jueves	370	15	27	43	31	6
Viernes	271	14	26	53	27	6
Sábado	320	9	23	50	22	5
Domingo	354	7	19	47	22	5

Octubre - Diciembre 2003

	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
Lunes	536	36	37	14	31	5
Martes	474	46	41	9	44	6
Miércoles	352	41	38	14	34	7
Jueves	645	44	38	15	35	6
Viernes	454	48	41	11	37	6
Sábado	394	29	29	17	27	5
Domingo	563	20	27	24	20	5

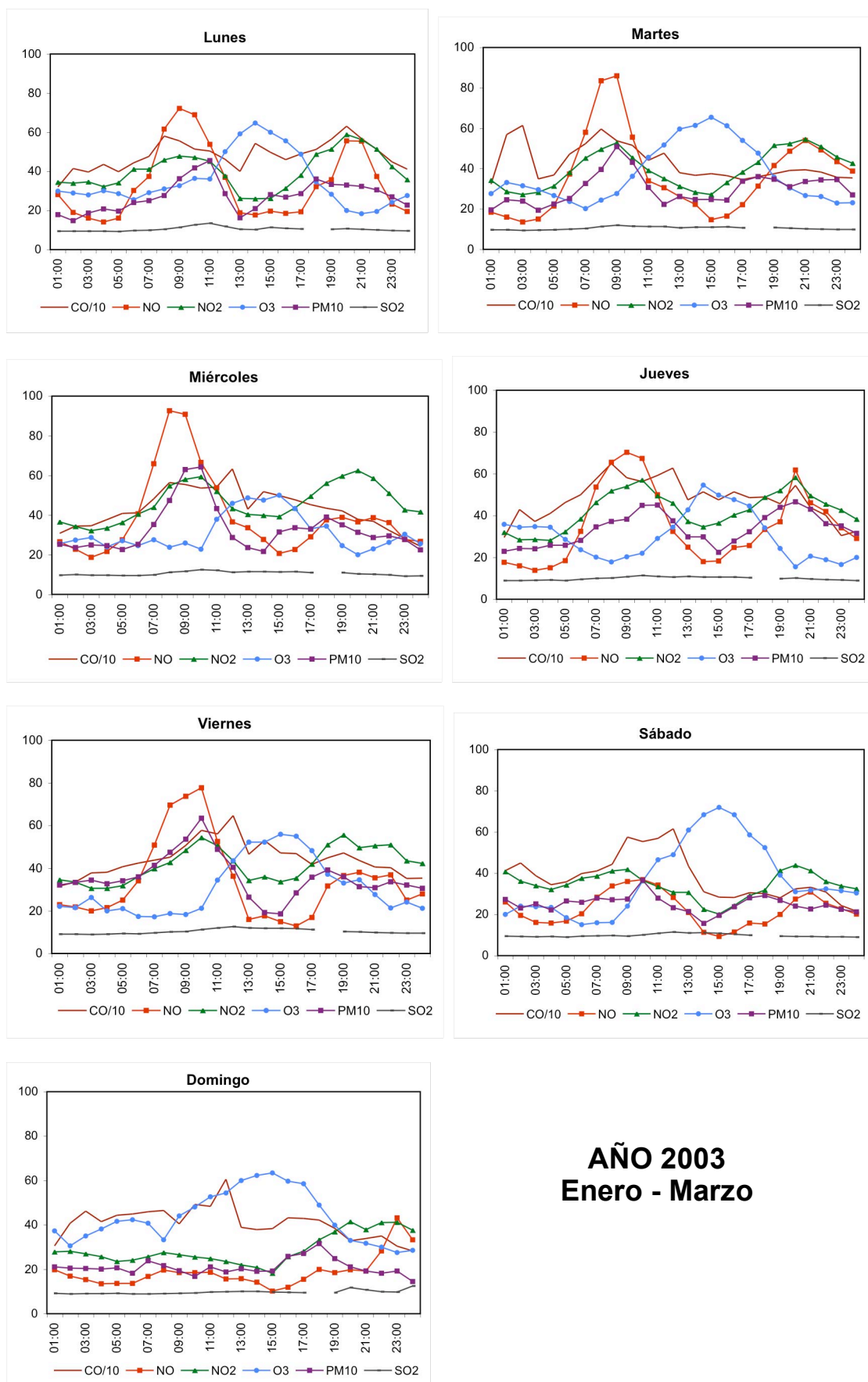
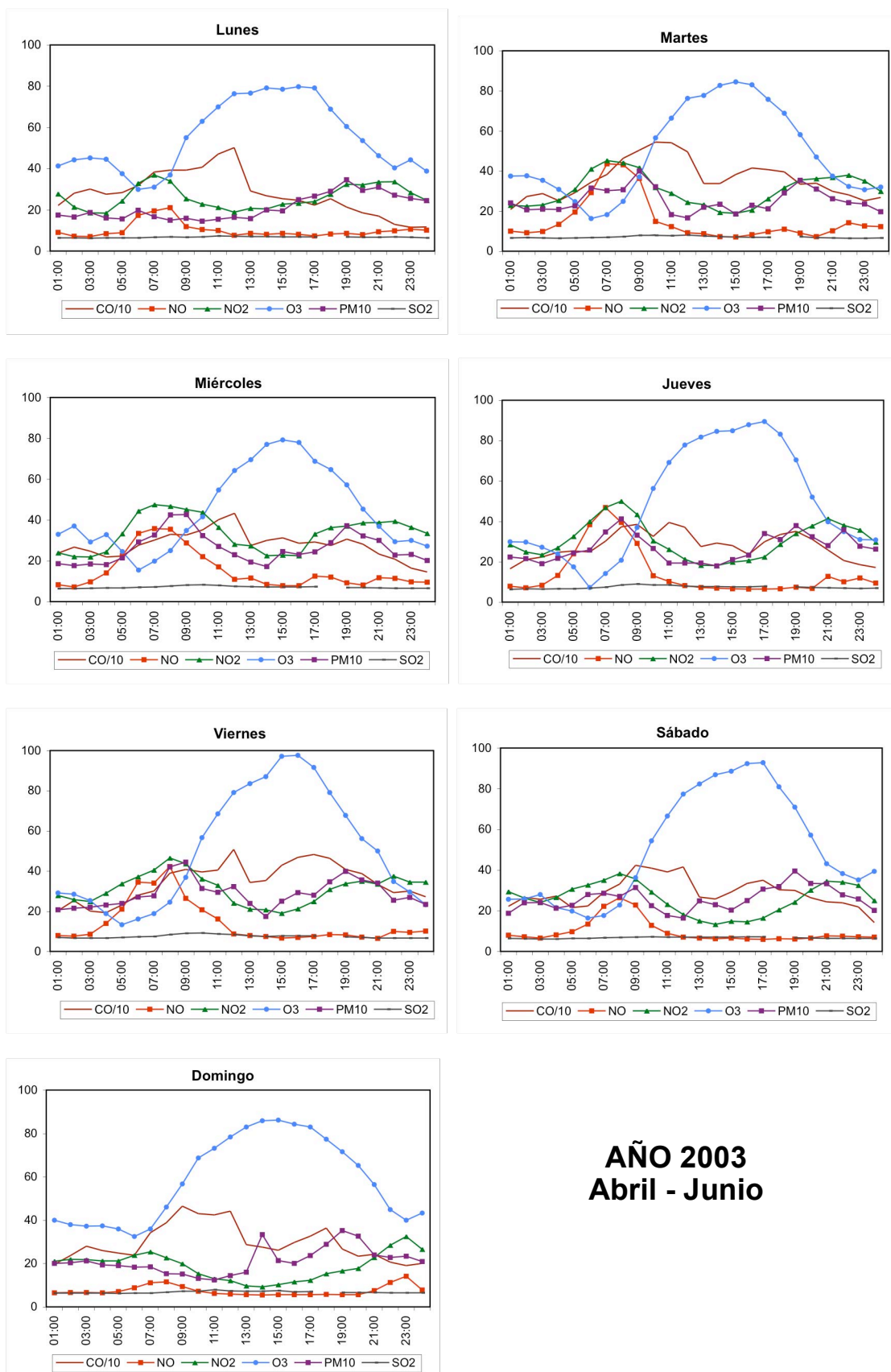
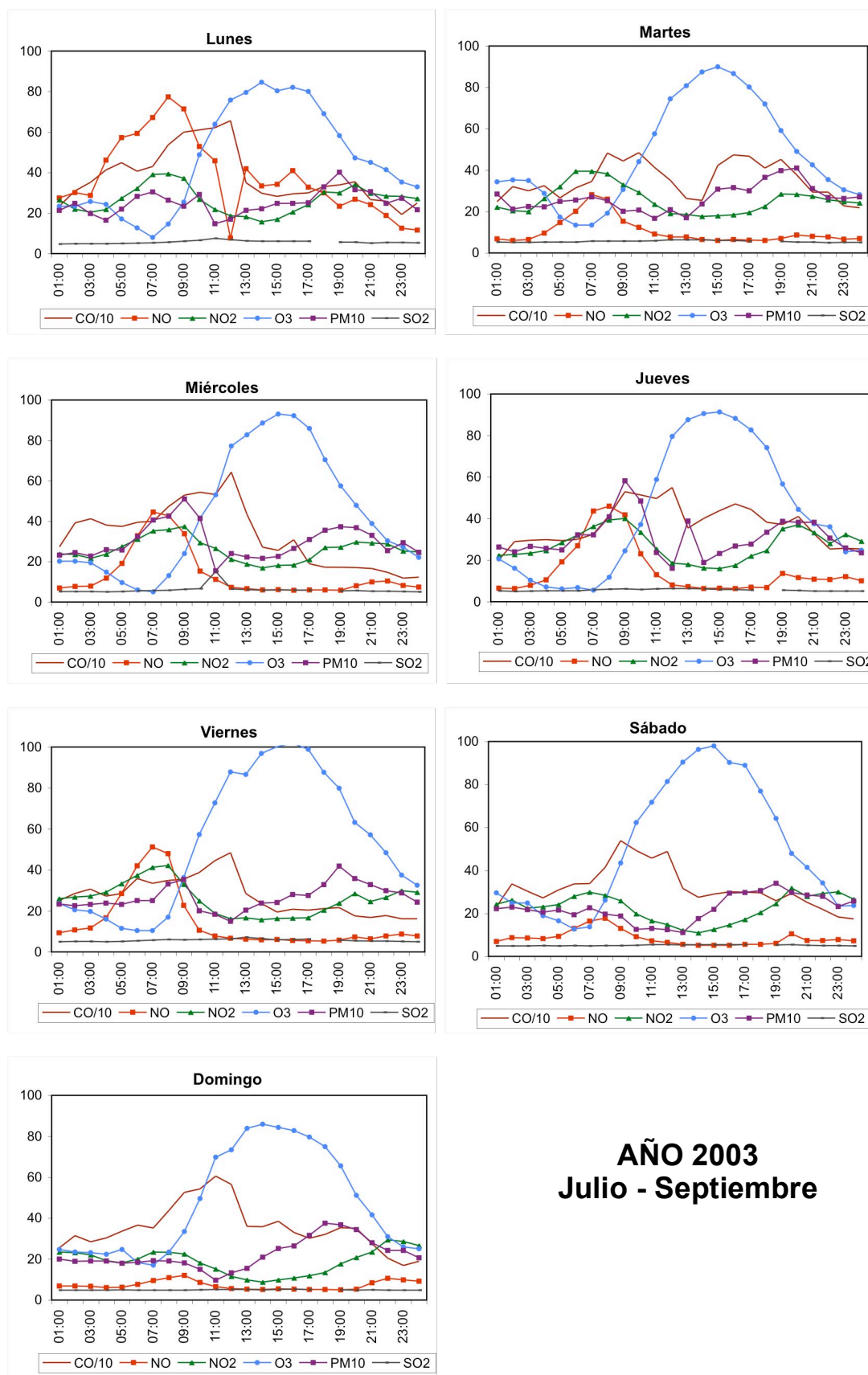


Figura V.4. Medidas horarias de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para cada día de la semana a partir de los datos registrados en la estación de Beasain entre Enero y Marzo del 2003.



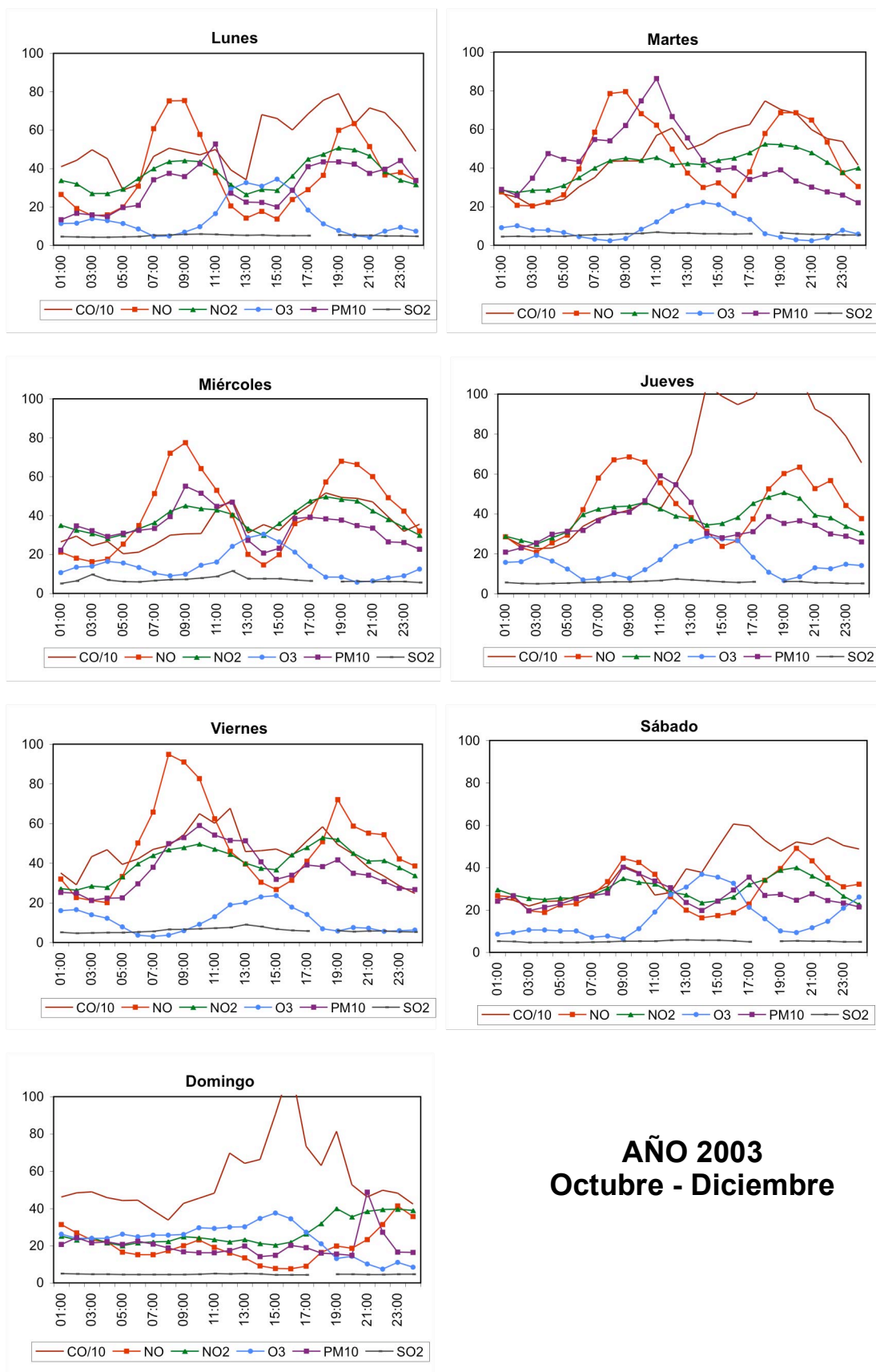
AÑO 2003
Abril - Junio

Figura V.4 (2003 continuación). *Medidas horarias de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para cada día de la semana a partir de los datos registrados en la estación de Beasain entre Abril y Junio del 2003.*



AÑO 2003
Julio - Septiembre

Figura V.4 (2003 continuación). Medidas horarias de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para cada día de la semana a partir de los datos registrados en la estación de Beasain entre Julio y Septiembre del 2003.



AÑO 2003
Octubre - Diciembre

Figura V.4 (2003 continuación). Medidas horarias de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para cada día de la semana a partir de los datos registrados en la estación de Beasain entre Octubre y Diciembre del 2003.

Tabla V.6. Concentraciones medias de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para cada uno de los días de la semana del año 2004.

Enero - Marzo 2004

	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
Lunes	443	45	44	12	38	6
Martes	497	46	45	14	42	6
Miércoles	407	45	48	14	42	7
Jueves	410	44	47	12	42	7
Viernes	475	46	43	17	34	7
Sábado	424	27	34	20	27	6
Domingo	359	22	32	19	26	6

Abril - Junio 2004

	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
Lunes	284	15	32	36	30	6
Martes	288	13	30	39	28	5
Miércoles	268	11	29	42	27	6
Jueves	331	14	31	42	28	6
Viernes	293	10	24	42	21	5
Sábado	236	9	21	38	19	5
Domingo	284	15	30	35	29	6

Julio - Septiembre 2004

	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
Lunes	301	13	28	25	29	5
Martes	245	14	27	25	28	5
Miércoles	231	14	27	30	29	5
Jueves	275	13	27	29	34	5
Viernes	246	15	29	27	32	5
Sábado	240	11	22	35	29	5
Domingo	332	8	20	36	25	5

Octubre - Diciembre 2004

	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10 Beta	SO ₂
Lunes	381	35	36	14	34	6
Martes	403	37	36	12	37	6
Miércoles	385	34	35	16	32	6
Jueves	420	46	41	8	41	6
Viernes	453	47	38	10	40	6
Sábado	361	26	29	16	25	5
Domingo	330	16	25	20	21	5

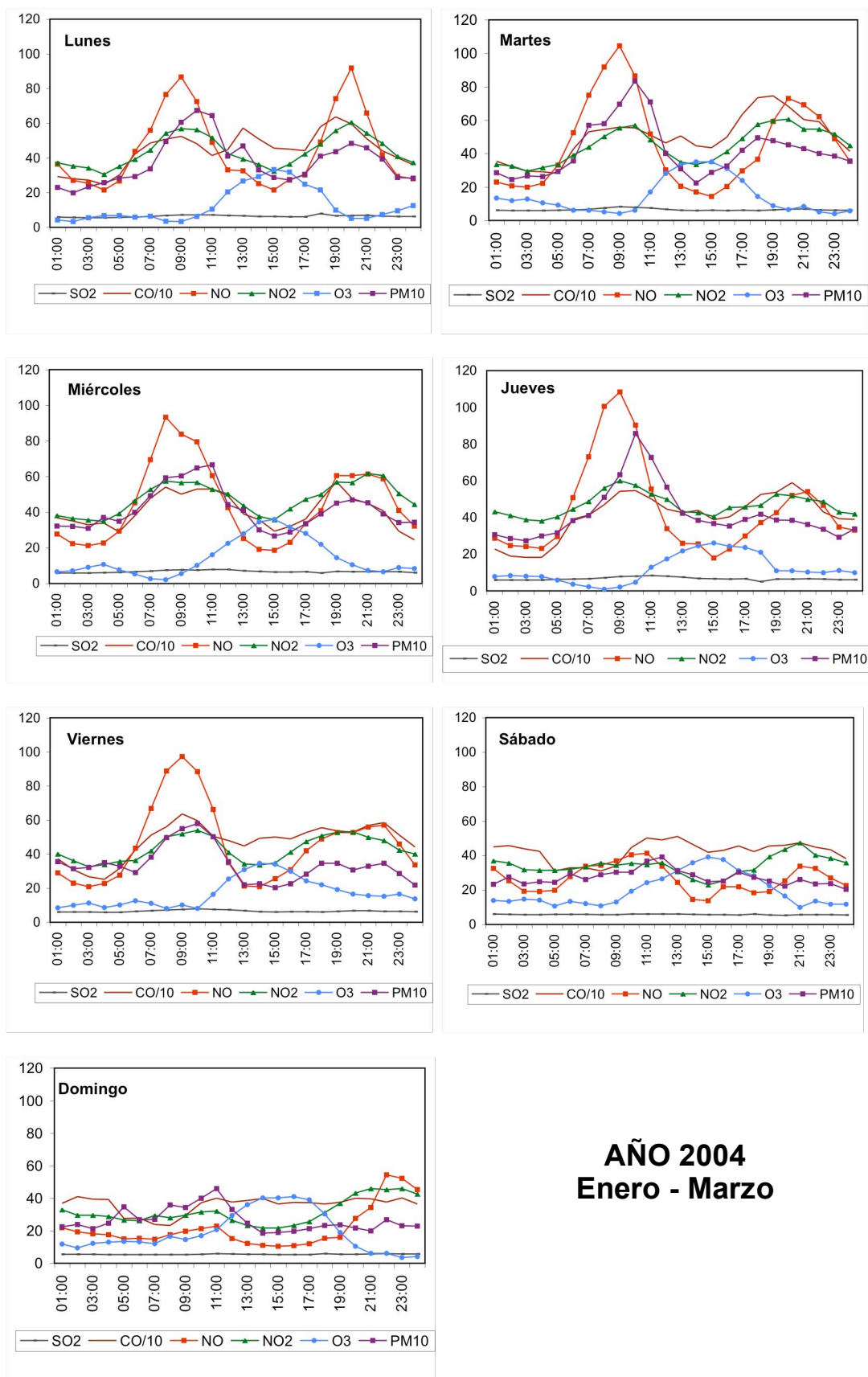


Figura V.5. Medidas horarias de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para cada día de la semana a partir de los datos registrados en la estación de Beasain entre Enero y Marzo del 2004.

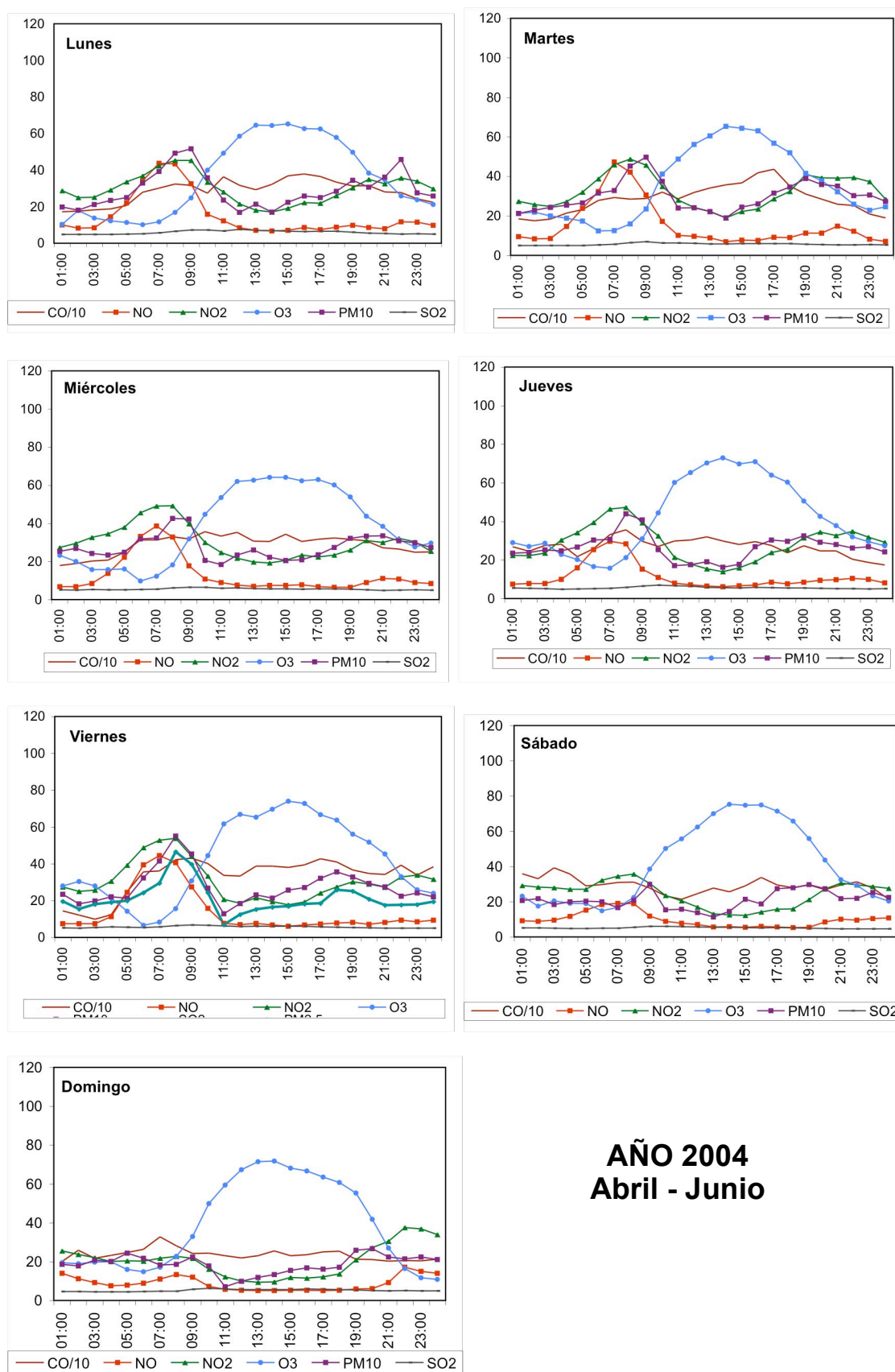
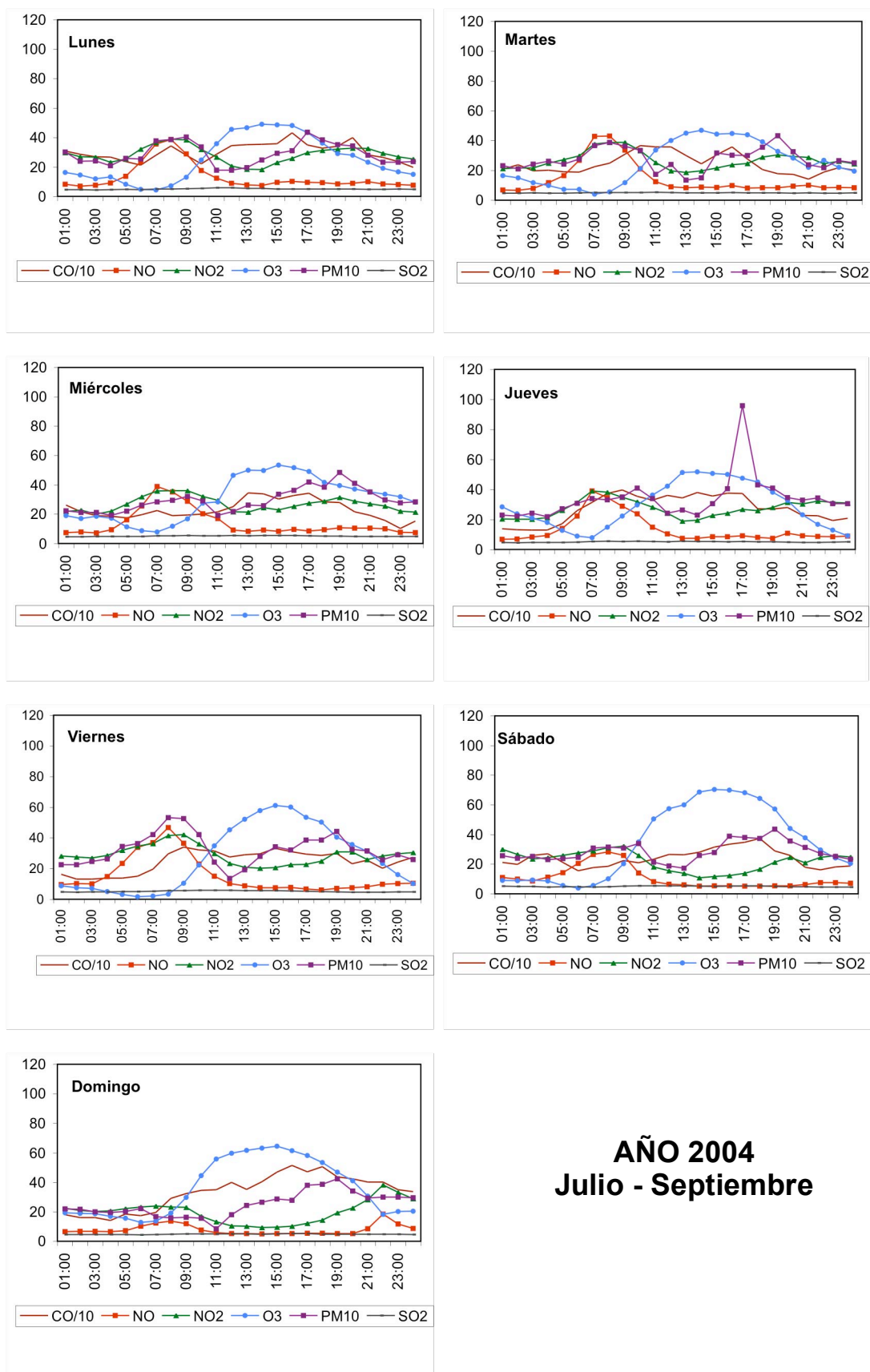
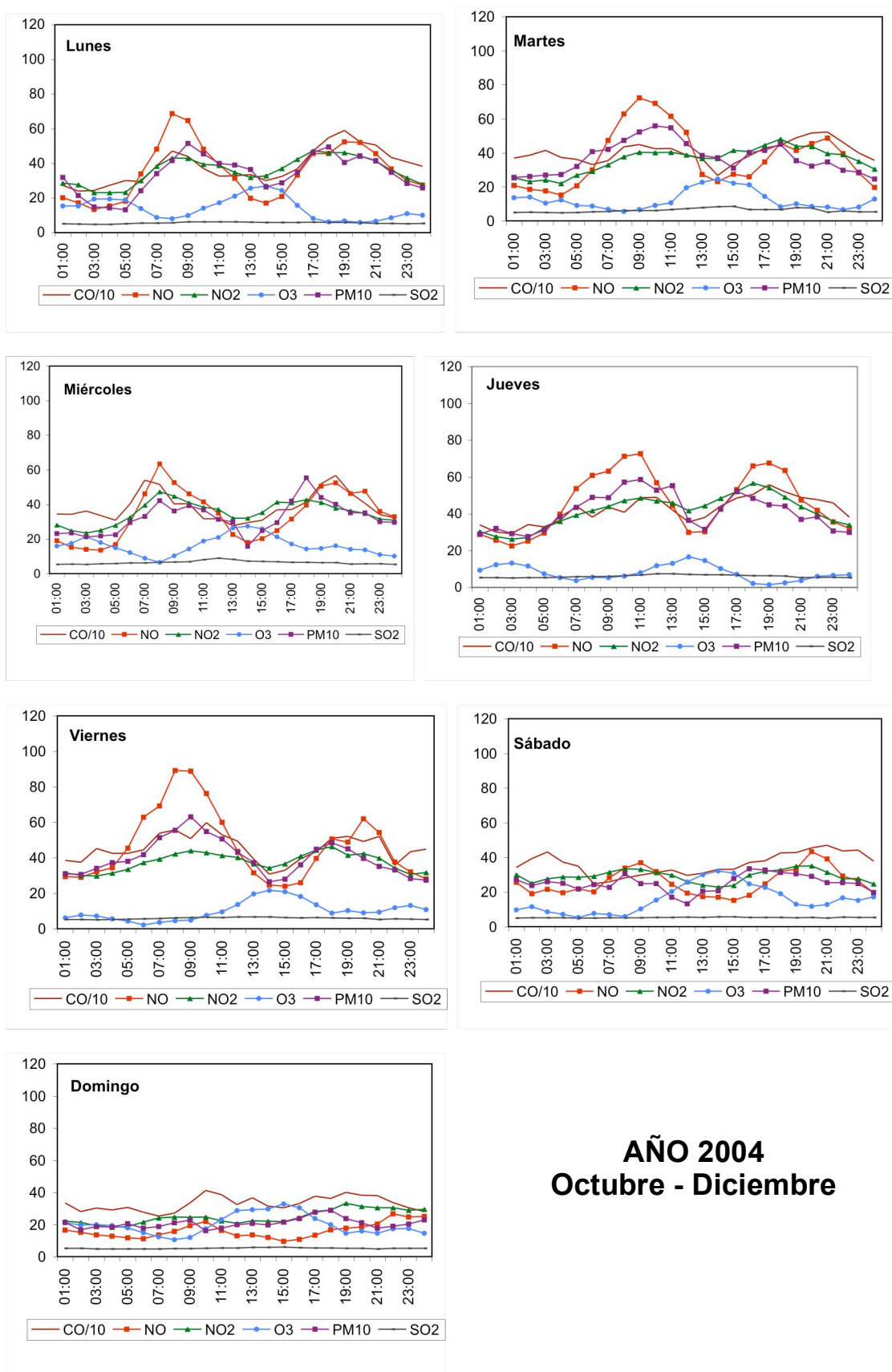


Figura V.5 (2004 continuación). Medidas horarias de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para cada día de la semana a partir de los datos registrados en la estación de Beasain entre Abril y Junio del 2004.



AÑO 2004
Julio - Septiembre

Figura V.5 (2004 continuación). Medidas horarias de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para cada día de la semana a partir de los datos registrados en la estación de Beasain entre Julio y Septiembre del 2004.



AÑO 2004
Octubre - Diciembre

Figura V.5 (2004 continuación). Medidas horarias de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para cada día de la semana a partir de los datos registrados en la estación de Beasain entre Octubre y Diciembre del 2004.

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

Utilizando los datos disponibles para la estación de Beasain suministrados por el Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco, se ha llevado a cabo un estudio de la correlación entre los valores diarios para los distintos contaminantes gaseosos (excepto el SO₂ por los bajos niveles de este contaminante), PM10 (Beta) y los parámetros velocidad y dirección del viento medidos durante los meses de Julio de 2003 a Julio de 2004. Los resultados del estudio de correlación se sintetizan en la **Tabla V.7.**

Tabla V.7. *Coeficientes de correlación para las concentraciones de contaminantes y datos de dirección y velocidad del viento de la estación de Beasain entre Junio 2003 y Junio 2004.*

	CO	NO	NO ₂	O ₃	PM10	SO ₂	Dir. Viento	Vel. Viento
CO	1,000							
NO	0,367	1,000						
NO ₂	0,285	0,691	1,000					
O ₃	-0,243	-0,673	-0,630	1,000				
PM10	0,272	0,697	0,540	-0,316	1,000			
SO ₂	0,178	0,489	0,474	-0,136	0,595	1,000		
Dir. Viento	0,154	0,407	0,497	-0,442	0,131	0,195	1,000	
Vel. Viento	0,002	-0,336	-0,393	0,464	-0,176	-0,030	-0,059	1,000

Las correlaciones más altas se indican en negrita y corresponden a los valores para los óxidos de NO y O₃. El NO₂ presenta valores de correlación positivos y altos con el NO, su precursor. Debido a que este último contaminante se relaciona principalmente con el tráfico, es de suponer que parte del NO₂ también tenga un origen antropogénico local. El O₃ presenta valores de correlación negativos tanto con el NO₂ como con el NO. El PM10 presenta una correlación moderada con los óxidos de nitrógeno lo que indica que parte del PM10 registrado en Beasain puede tener un origen antropogénico local (tráfico), mientras que el resto tendría un origen, o bien natural, o antropogénico local, pero de tipo industrial.

La correlación con la dirección y velocidad del viento no parece significativa en ningún caso.

VI. ESTUDIO DE LAS SERIES TEMPORALES.

SEGUNDA PARTE PARTE.

Identificación de episodios de intrusiones de partículas

Como ya se ha indicado, el estudio de las series temporales comienza con una revisión estadística de los niveles de PM10 proporcionados por los equipos de la Red de Control de la Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco, de la que se obtiene una primera visión del grado de cumplimiento de los valores límite de PM10 según la directiva 1999/30/CE. A continuación se analiza la correlación con los niveles de contaminantes gaseosos locales, lo que permite deducir el grado de influencia de las fuentes locales de material particulado a lo largo de una serie temporal. Los resultados de esta primera fase del estudio de las series temporales se han presentado en el Capítulo V de la memoria.

La interpretación de las variaciones de niveles de partículas se complementa con el análisis de los escenarios meteorológicos que las acompañan y con la identificación del origen de las masas de aire que alcanzan la zona de estudio. Para ello, se tienen en cuenta los mapas de niveles de presión a 1000, 850, 750 y 500 mbar, proporcionados por el NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center (Kalnay et al., 1996; <http://www.cdc.noaa.gov/Composites/Hour/>), y los resultados del cálculo de retrotrayectorias isentrópicas. El modelo para la determinación de retrotrayectorias utilizado es el HYSPLIT, versiones 3 (Draxler y Rolph, 2003). Las retrotrayectorias se obtienen para cada día a las 12h, con cálculos a intervalos de 6 horas, tomando el transporte realizado durante los 5 días anteriores. Las alturas de partida de las retrotrayectorias isentrópicas son 750, 1500 y 2500 m sobre la superficie.

Finalmente, y para la identificación de episodios de intrusión de masas de aire de origen africano con altos niveles de partículas procedentes de los desiertos del Sahara y Sahel, se utilizan mapas de aerosoles, imágenes de satélite y modelos de transporte disponibles en las siguientes direcciones de Internet:

- Mapas de índices de aerosoles TOMS (Herman et al., 1997, <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>). La información detallada para Europa se almacena en: <ftp://jwocky.gsfc.nasa.gov/pub/tmp/meduse>. Estos mapas reflejan la medida indirecta del TOMS o Total Ozone Mapping Spectrometer, que determina la columna de ozono total a partir del Ultravioleta, y detecta las variaciones estacionales.
- Mapas de aerosoles SKIRON: www.forecast.uoa.gr (Kallos et al., 1997). El Grupo de Predicción Meteorológica de la Universidad de Atenas proporciona mapas de concentración de aerosoles cada 12 horas, así como predicciones de hasta 72 horas calculadas a partir de la integración de una columna de material particulado (resultados expresados en g/m²). Estos datos deben ser recopilados todos los días pues son borrados del servidor periódicamente.
- Imágenes de satélite SeaWIFS de la NASA (SeaWIFS Project Image Archive): http://seawifs.gsfc.nasa.gov/cgihrs/seawifs_subreg.pl (McClain et al., 1998). Imágenes satélite diarias en las que se distingue con claridad el material particulado africano, especialmente cuando el transporte se produce sobre el Océano. La detección de las plumas de partículas depende de la nubosidad en la zona.
- Mapas de aerosoles de la Marine Meteorology Division del Naval Research Laboratory, USA (NRL): <http://www.nrlmry.navy.mil/aerosol>. Los cálculos NAAPS-NRL incluyen mapas de distribución de espesor óptico y de concentración en superficie de polvo mineral, sulfato y materia carbonosa (originada durante la quema de biomasa). Este método permite la detección de episodios de aporte de material antropogénico desde Europa central y oriental, además de episodios africanos y de combustión de biomasa.
- Predicciones acerca de niveles de polvo mineral en superficie de 0 a 72 h para Europa según el Euro-Mediterranean Centre on Insular Coastal Dynamics (ICoD): http://www.icod.org.mt/modeling/forecasts/dust_med.htm, preparadas a través del modelo DREAM.

VI.a. Estudio de retrotrayectorias y su significado

La **Tabla VI.1** muestra la frecuencia anual y niveles medios de PM10 registrados para los diferentes escenarios de transporte atmosférico distinguidos. AN, ANW, AW, ASW, esto es, advección del Atlántico N, NW, W y SW, respectivamente; NAF, advección africana; MED, transporte desde la cuenca mediterránea, y EU: transporte desde Europa central (**Figura VI.1**). Mientras que la **Figura VI.2** muestra los porcentajes de los escenarios definidos para el País Vasco tras agrupar los diferentes escenarios.

Tabla V.8. 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.

	AN	ANW	AW	ASW	NAF	MED	EU
Frecuencia	11	20	28	14	7	7	13
PM10	26,4	26,9	33,4	41,5	46,5	46,6	39,9

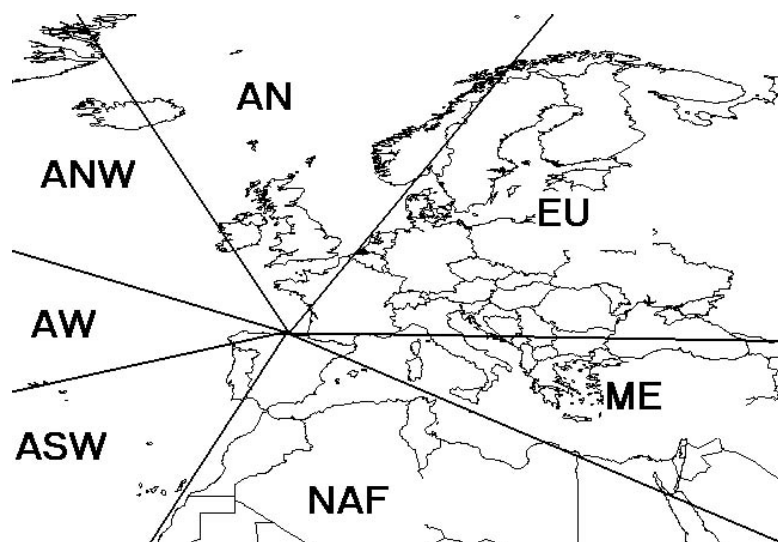


Figura VI.1. Sectores de origen de retro-trayectorias distinguidos en la interpretación de las series temporales.

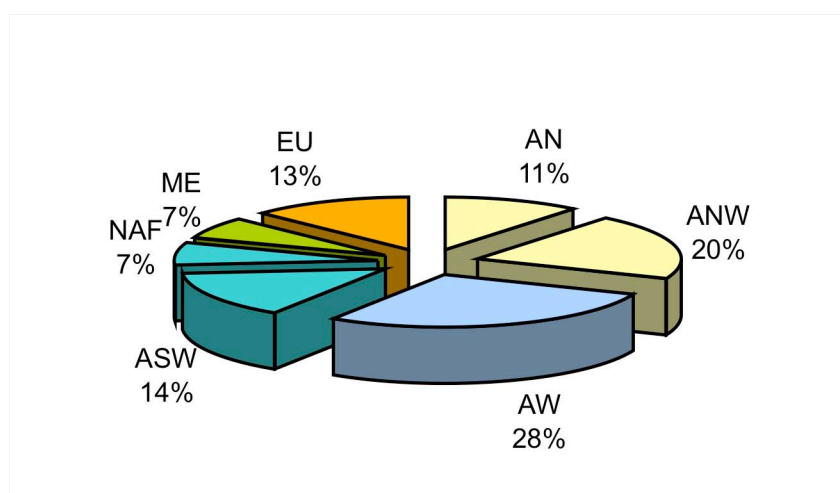


Figura VI.2. Frecuencia anual (en %) durante el periodo de estudio para los diferentes escenarios de transporte atmosférico distinguidos.

La mayor frecuencia correspondió a episodios de advección atlántica que llegaron a representar casi un 70 % de los días. Los escenarios europeos y norteafricanos representan el 13 y 7 % de los días, respectivamente, mientras que también un 7 % correspondió a transporte desde la cuenca mediterránea. Estos porcentajes son muy similares a los obtenidos para el periodo 1996-2000 y para el año 2001 en la Comunidad Autónoma con frecuencias que oscilaban entre 74-76 % AT, 7-8 % NAF, 11-15 % EU y 4-5 % ME (Viana et al., 2003).

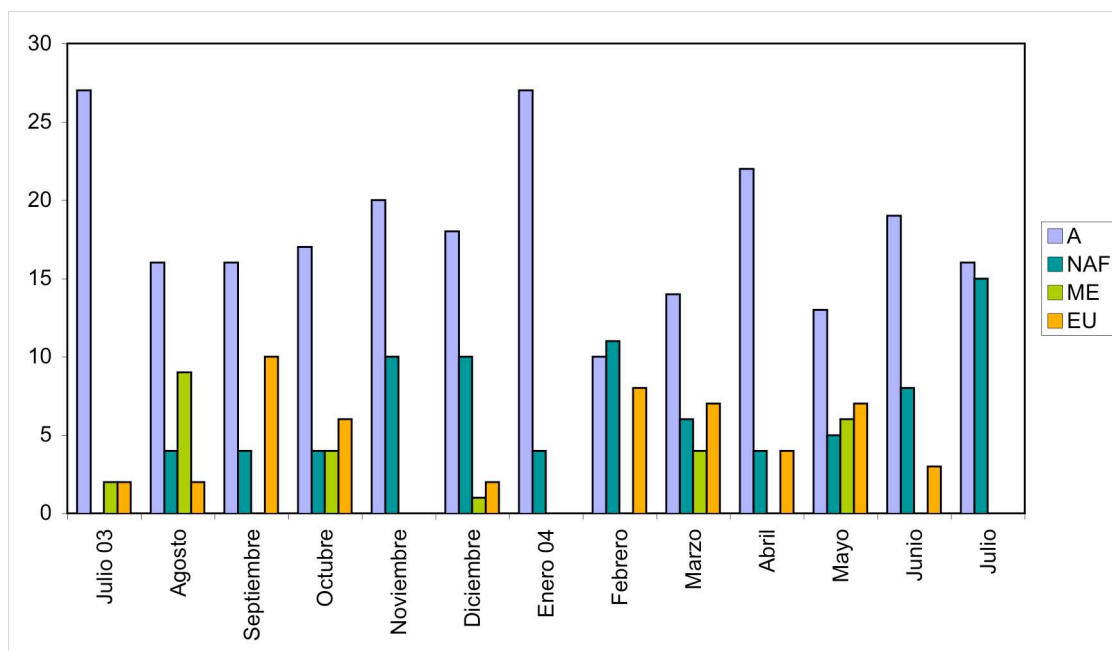


Figura VI.3. Abajo: Variación mensual de la frecuencia (número de días) para los escenarios distinguidos: A: advección atlántica, NAF: advección africana; ME, transporte desde la cuenca mediterránea, EU: transporte desde Europa central.

La variación estacional para el periodo de estudio muestra pautas diferentes en función del escenario de transporte (**Figura VI.3**). Así, la advección atlántica se mantuvo aproximadamente constante a lo largo de todo el periodo de estudio, con los valores más bajos en Febrero, Marzo y Mayo de 2004. Los escenarios de transporte europeo se concentraron en los meses de Septiembre-Octubre de 2003 y Febrero a Mayo de 2004. Los episodios africanos presentan varios máximos correspondientes a meses en los que clásicamente se producen las intrusiones africanas sobre la Península Ibérica.

La **Figura VI.4** muestra los niveles medios de partículas registrados en la estación de Beasain en función del origen de las retrotrayectorias. Puede apreciarse cómo los niveles más altos son los que se registran bajo escenarios de transporte europeos, Norte-africanos y mediterráneos, con niveles medios de PM10 por encima de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los niveles más bajos corresponden a situaciones de influencia Nor-Atlántica o Atlántica Occidental, que representan el 11 y el 28 %, respectivamente.

La situación atmosférica más habitual para que se produzca la llegada de masas de aire Centro-Europeo es que el País Vasco se encuentre bajo la influencia de un anticiclón de estancamiento. 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.

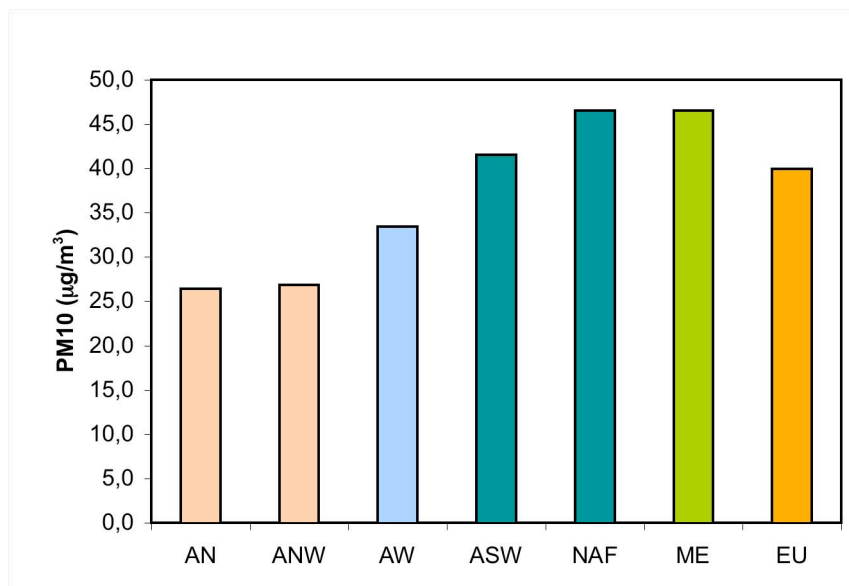


Figura V.4. Niveles medios de PM10 para el periodo de estudio en función de los escenarios de transporte atmosférico distinguidos. AN, ANW, AW, ASW: advección del Atlántico Norte, Noroeste, Oeste y Suroeste, respectivamente; NAF: advección africana; ME, transporte desde la cuenca mediterránea, EU: transporte desde Europa central.

VI.b. Interpretación de series mensuales: Tipos de eventos.

AÑO 2003

Julio 2003

Durante el mes de Julio, en Beasain no hubo ningún día en el que el valor medio de PM10 fuese superior a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, existieron picos muy puntuales con valores horarios de partículas elevados, debidos con seguridad a la contaminación local (**Figura VI.5**).

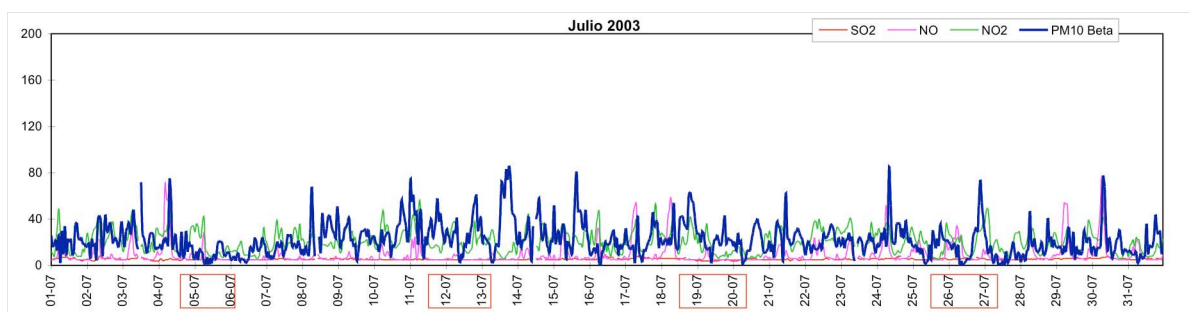


Figura VI.5. Valores horarios de PM10 y otros contaminantes para el mes de Julio de 2003 en Beasain. Se indican los fines de semana (enmarcados).

Agosto 2003

Durante el mes de Agosto se superó el valor límite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 en 6 ocasiones (**Figura VI.6**).

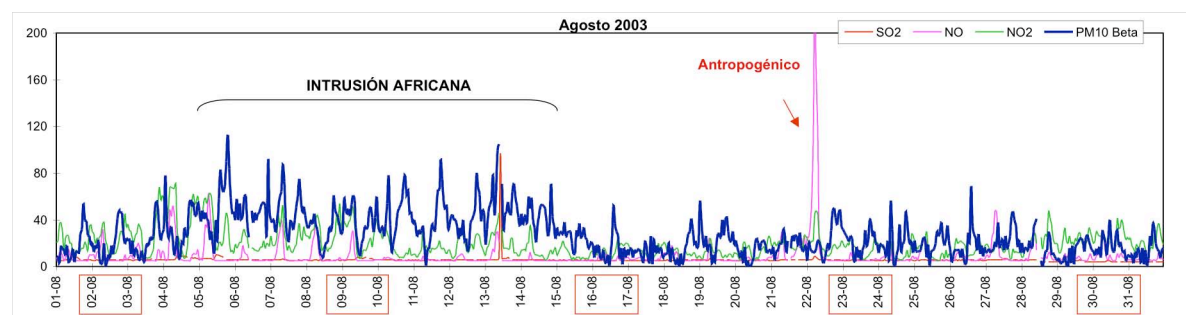


Figura VI.6. Valores horarios de PM10 y otros contaminantes para el mes de Agosto en Beasain. Se indican los eventos de tipo antropogénico y africano, y los fines de semana (enmarcados).

En este mes se produjo una situación de transporte de partículas desde el continente africano hacia la Península entre los días 4 y 14, que dió lugar a la superación de los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 en Beasain durante los días 5, 6, 7, 10, 13 y 14 de Agosto. En las fotografías del SeaWIFS (**Figura VI.7**) para los días

5, 7 y 12 de Agosto, se puede observar, a pesar de la existencia de nubosidad, una gran nube de partículas sobre la Península Ibérica. Hay otras evidencias, aparte de las fotografías del SeaWIFS, que indican la presencia de partículas exógenas en la zona, como son los gráficos obtenidos del SKIRON (**Figura VI. 8**), NAAPS y predicciones del ICoD.

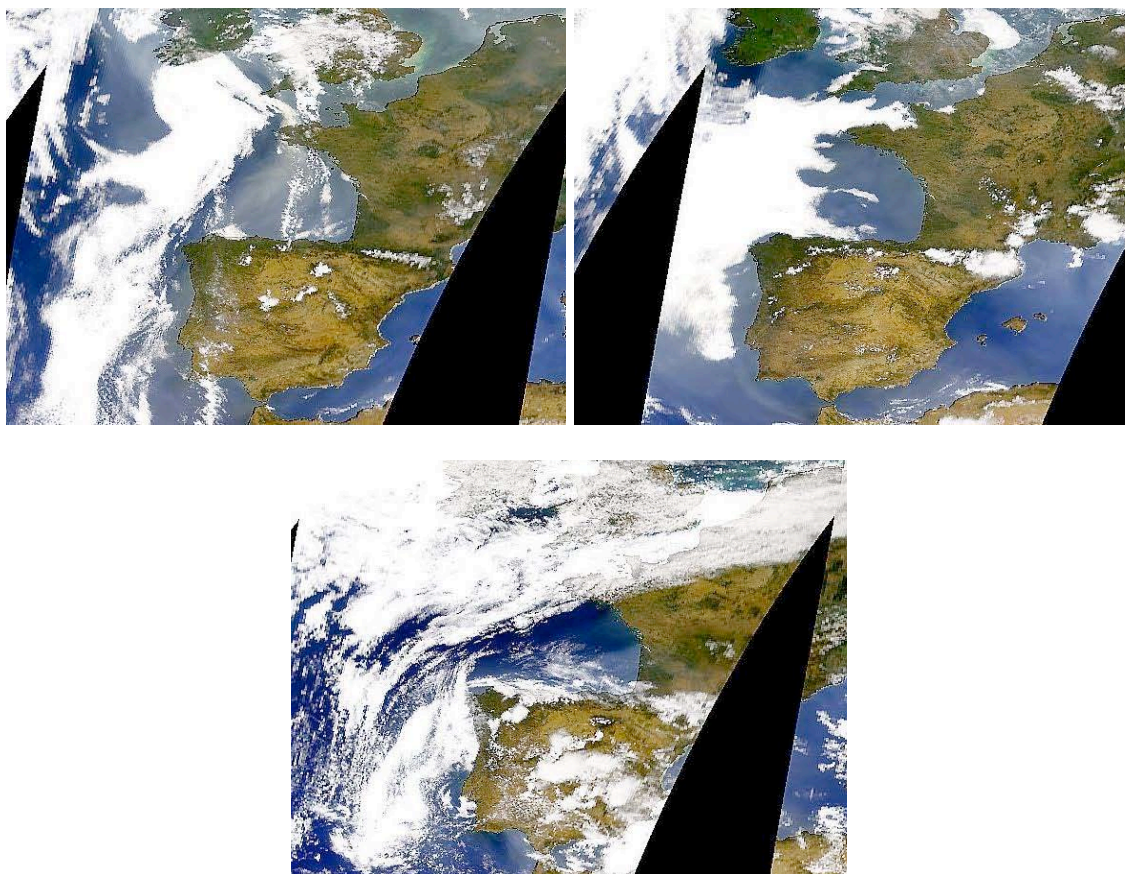


Figura VI.7. Fotografías del SeaWIFS correspondientes a los días 5 (arriba izquierda), 7 (arriba derecha) y 12 (abajo) de Agosto.

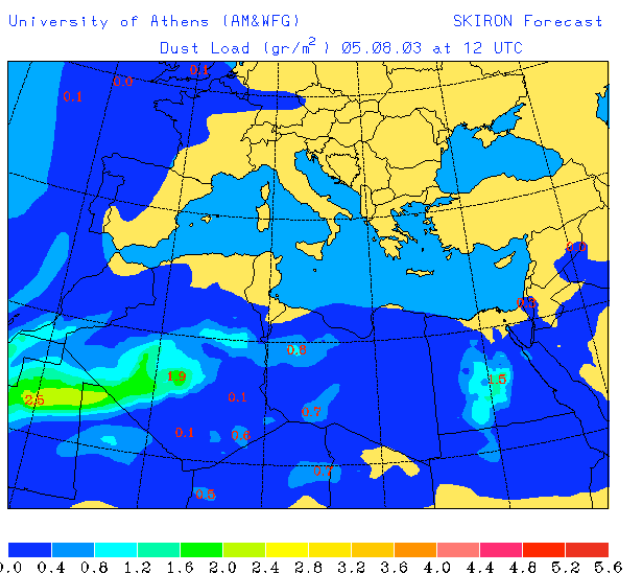


Figura VI.8. Episodio de intrusión de una masa de aire cargada de partículas para el 5 de Agosto de 2003. Predicción del SKIRON.

Septiembre 2003

Durante el mes de Septiembre los valores diarios de PM10 superaron en 4 ocasiones el límite máximo permitido de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (**Figura VI.9**).

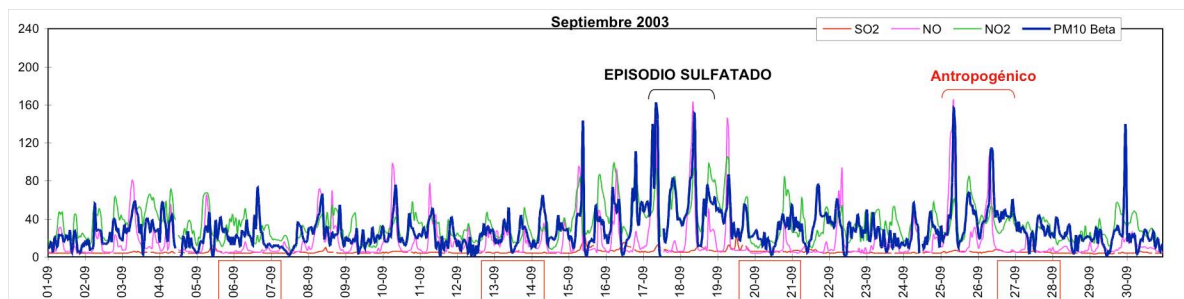


Figura VI.9. Valores horarios de PM10 y otros contaminantes para Septiembre de 2003 en Beasain. Se indican los eventos de tipo antropogénico y los fines de semana (enmarcados).

El 17 y 18 de Septiembre se produjo la superación del valor límite permitido de PM10, alcanzándose un valor de $74.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 para el día 17. La característica de esta superación está relacionada con la existencia de una masa de aire envejecida que viene marcada por el alto contenido en NO_2 , el cual indicaría el origen antropogénico de la contaminación. No obstante, dicha contaminación parece estar relacionada con la migración de una masa de aire desde Centro Europa hacia la Península Ibérica (**Figura VI.10**).

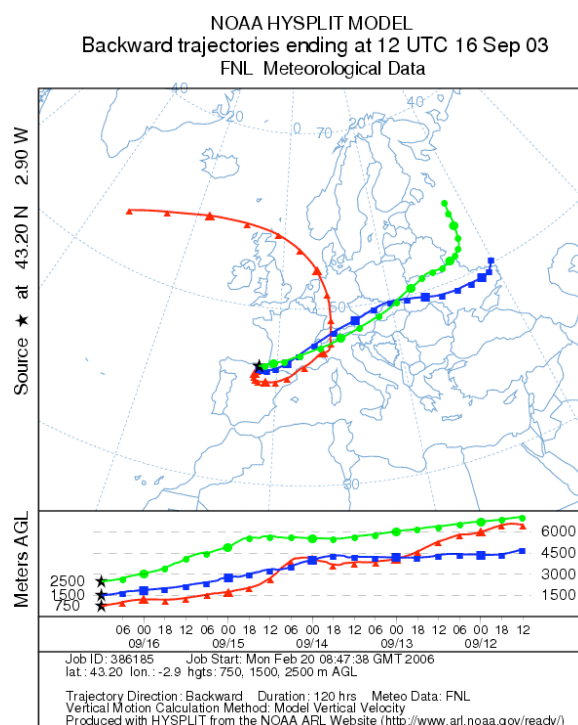


Figura VI.10. Retrotrayectoria correspondiente al día 16 de Septiembre de 2003.

En la **Figura VI.11** se observa que el modelo del NAAPS indica una alta concentración de sulfatos sobre la Península, lo que apoya el origen antropogénico lejano del material particulado.

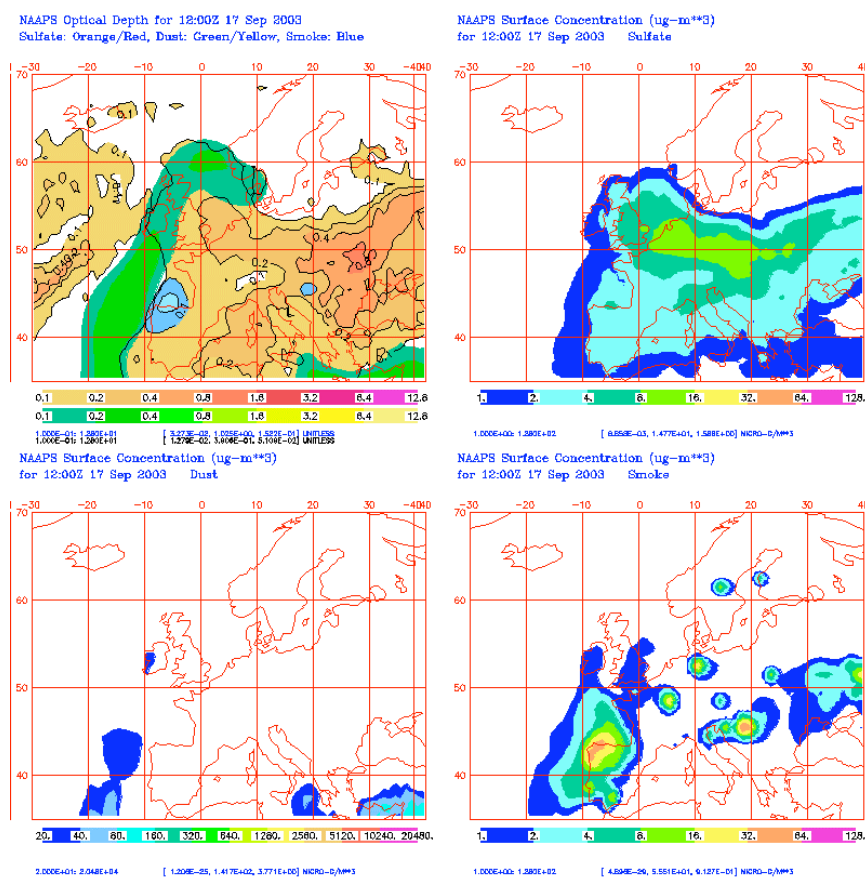


Figura VI.11. Mapas del NAAPS para el 17 de Septiembre de 2003. Se refleja la presencia de material particulado y de sulfatos.

Los días 25 y 26 de Septiembre corresponden a días de superaciones acompañadas de un pico de NO, por lo que, en principio, debe tratarse de superaciones de origen antropogénico de tipo local. Las retrotrayectorias obtenidas para estos días indican un periodo de advección atlántica. Mientras que las fotografías de SeaWiFS no permiten ver si hay o no nubes de partículas en la zona de estudio debido a la espesa nubosidad. Los gráficos del NAAPS y las predicciones del ICoD no reflejan la existencia de contaminantes alóctonos, por lo que el evento de superación debe considerarse de origen antropogénico de tipo local.

Octubre 2003

Durante el mes de Octubre se produjeron 2 superaciones del límite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 permitido por la normativa europea (**Figura VI.12**).

Los días 17 y 20 de Octubre se registraron superaciones del valor permitido de PM10 que coincidieron con episodios de altos niveles de NO, lo que aparece en forma de picos puntuales y muy marcados (**Figura VI.12**) que no pueden ser justificados con eventos naturales, sino que serían probablemente debidos a eventos de contaminación antropogénica local.

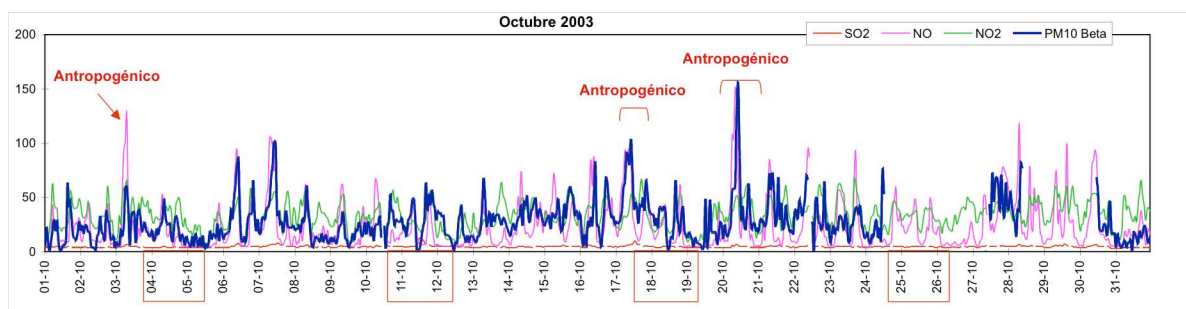


Figura VI.12. Valores horarios de PM10 y otros contaminantes para el mes de Octubre de 2003 en Beasain. Se indican los eventos de tipo antropogénico y los fines de semana (enmarcados).

Noviembre 2003

Durante el mes de Noviembre las superaciones fueron numerosas, llegándose a sobrepasar el límite legal establecido de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 en 11 jornadas (**Figura VI.13**).

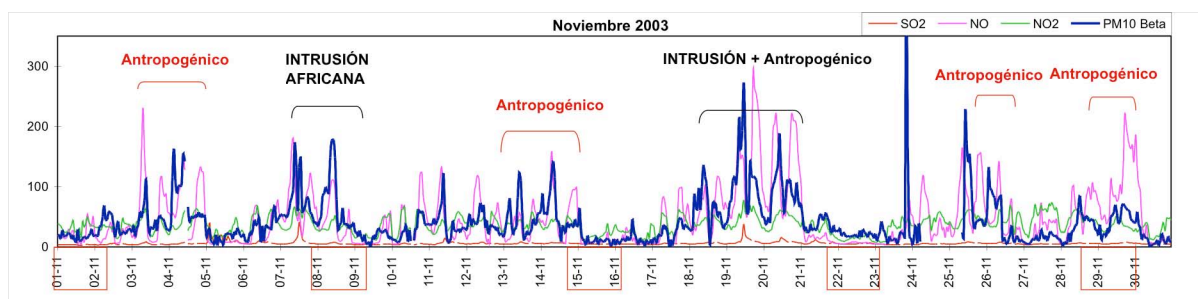


Figura VI.13. Valores horarios de PM10 y otros contaminantes durante Noviembre de 2003 en Beasain. Se indican los eventos de tipo antropogénico y africano, y los fines de semana (enmarcados).

Las primeras superaciones de los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 permitidos por la legislación vigente se produjeron los días 3 y 4 de Noviembre. Estas superaciones estaban acompañados de un aumento importante en la concentración de NO, de modo que puede atribuirse a la contaminación un carácter antropogénico. Ni en los gráficos obtenidos del NAAPS e ICoD ni en la fotografía del SeaWIFS se observan indicios de la existencia de un aporte externo de material particulado, por lo que la contaminación para estos días debe considerarse de tipo local.

La siguiente superación se produjo durante los días 7 y 8 de Noviembre. En este caso también se observa un pico de NO asociado al de PM10 para el día 7. Sin embargo, esta superación difiere de la anterior en que no tiene un carácter tan puntual y alcanza valores de PM10 más elevados ($90,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Las retrotrayectorias correspondientes a estos días indican una procedencia desde el Sur del Atlántico para el material particulado. Sin embargo, ni los gráficos del NAAPS ni las fotografías del SeaWIFS reflejan la existencia de material particulado de origen externo, aunque sí que se detectan eventos intrusivos que no parecen afectar directamente al Norte de la Península Ibérica. Tan sólo las predicciones del ICoD (**Figura VI.14.**) reflejan la existencia de una masa de material particulado procedente del Norte de Africa. Por lo tanto, se deduce que la superación habría sido debida a la intrusión de material exógeno, si bien existiría solapamiento con un periodo de contaminación antropogénica local.

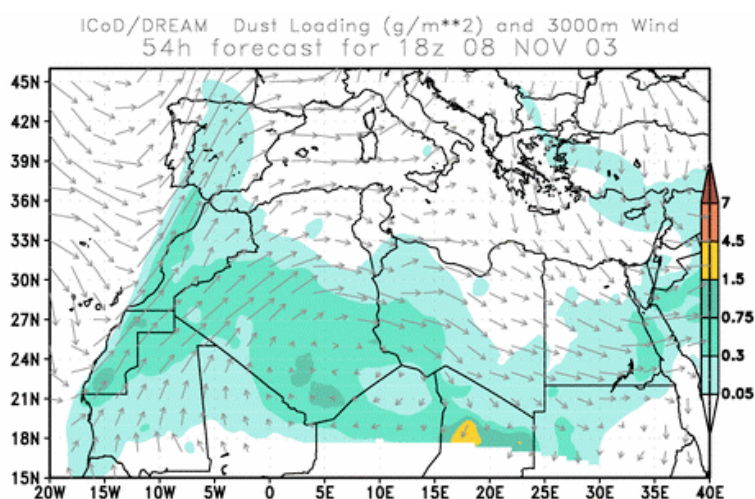


Figura VI.14. Predicciones del ICoD para el día 8 de Noviembre de 2003.

La siguiente superación se produjo del día 13 al 14 de Noviembre. Ni en los gráficos obtenidos del NAAPS ni en las predicciones del ICoD se observan indicios de la existencia de un aporte externo de material particulado, por lo que la contaminación debe considerarse de carácter antropogénico y local.

Del día 18 al 20 del mismo mes se produjeron nuevas superaciones. Los datos para este periodo indican una procedencia de las partículas desde el norte de África. En este caso también se detecta un aumento de la cantidad de NO. El carácter puntual de los picos de NO apunta a una contaminación antropogénica de tipo local, debida probablemente al efecto del tráfico. Los gráficos del NAAPS y las predicciones del ICoD reflejan claramente la

existencia de un evento de intrusión de material particulado procedente del norte de África que afectó claramente a la Península Ibérica. En las fotografías del SeaWIFS (**Figura VI.15**) se observa la existencia de gran cantidad de partículas.

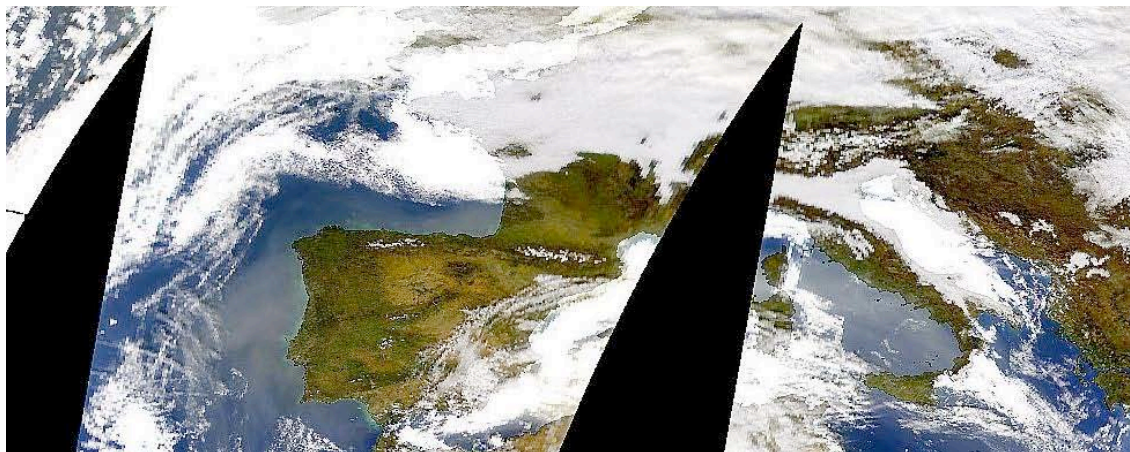


Figura VI.15. Fotografía del SeaWIFS correspondiente al día 19 de noviembre de 2003.

Las series temporales de valores horarios de PM10 (**Figura VI.13**) reflejan la existencia de una gran cantidad de partículas los días 26 y 29 de Noviembre, acompañadas de un aumento importante en los niveles de NO. Los valores medios diarios para estos días llegaron a superar los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10, valor máximo permitido por la normativa europea. Ni en las predicciones del ICoD (**Figura VI.16**), ni en los gráficos obtenidos del NAAPS (**Figura VI.17**) se observan indicios de la existencia de un aporte externo de material particulado, por lo que la contaminación debe considerarse de carácter antropogénico y local.

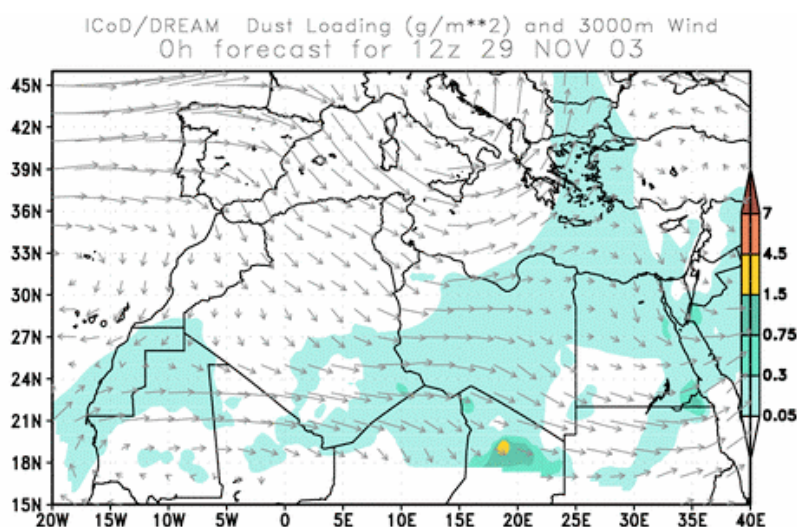


Figura VI.16. Predicciones del ICoD para el día 29 de Noviembre de 2003.

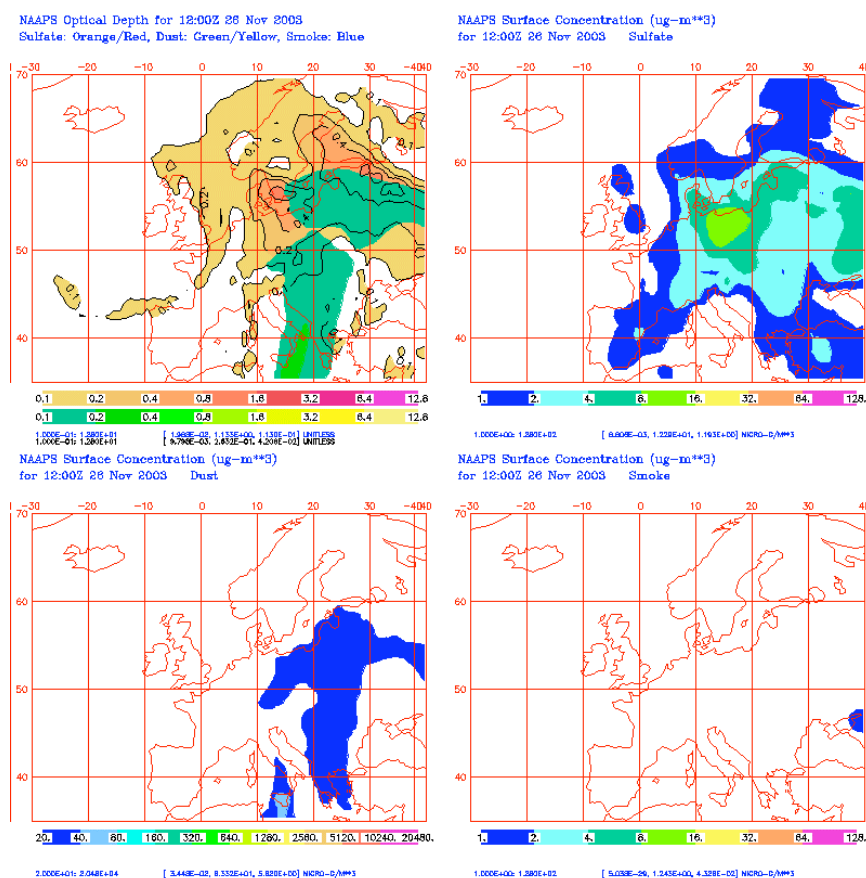


Figura VI.17. Gráficos del NAAPS correspondientes al día 26 de Noviembre de 2003.

Diciembre 2003

Durante el mes de Diciembre de 2003, en Beasain se superó en 5 ocasiones el límite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 establecido por la normativa (**Figura VI.18**).

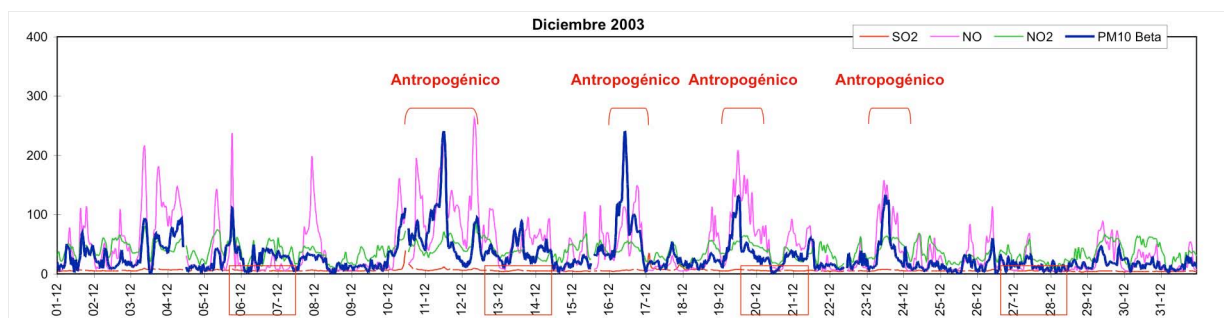


Figura VI.18. Valores horarios de PM10 y otros contaminantes para Diciembre de 2003 en Beasain. Se indican los eventos de tipo antropogénico y los fines de semana (enmarcados).

Los días 10 y 11 se registraron superaciones en Beasain. Los gráficos del NAAPS y las predicciones del ICoD (**Figura VI.19**) no reflejan la existencia de partículas sobre la Península Ibérica para estos días, mientras que la existencia de elevados contenidos en NO apunta hacia una contaminación antropogénica de tipo local.

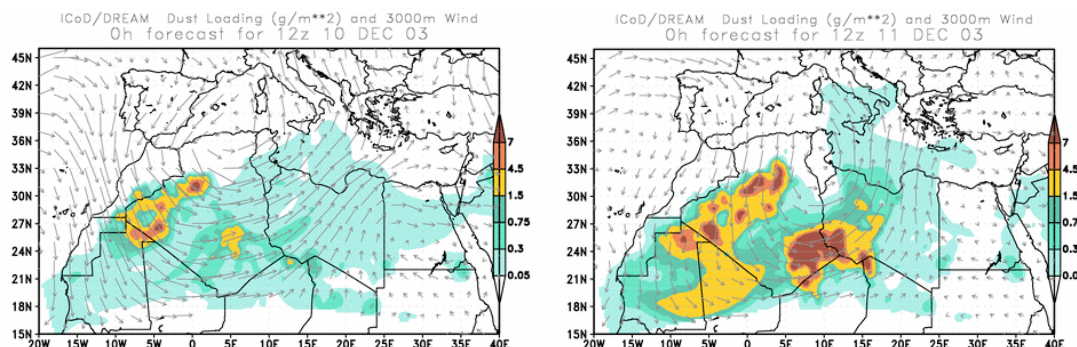


Figura VI.19. Predicción del ICoD para los días 10 y 11 de Diciembre de 2003.

La siguiente superación se produjo el día 16 de Diciembre, acompañada también de un aumento en la concentración de NO. Ni en lo gráficos obtenidos del NAAPS, ni en las predicciones del ICoD se observan indicios de la existencia de un aporte externo de material particulado, por lo que la contaminación debe considerarse de carácter antropogénico local.

En las superaciones del valor permitido de PM₁₀ durante el mes de Diciembre se observa la existencia de numerosos episodios con altos niveles de NO que aparecen en forma de picos puntuales y muy marcados. Ni en los gráficos obtenidos del NAAPS ni en las predicciones del ICoD se observan indicios de la existencia de un aporte externo de material particulado para los días 19 y 23 de Diciembre, por lo que la contaminación también debe considerarse de carácter antropogénico local para estos días.

AÑO 2004

Enero 2004

Durante el mes de Enero, en Beasain se registraron 6 días de superación del valor permitido de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 (**Figura VI.20**)

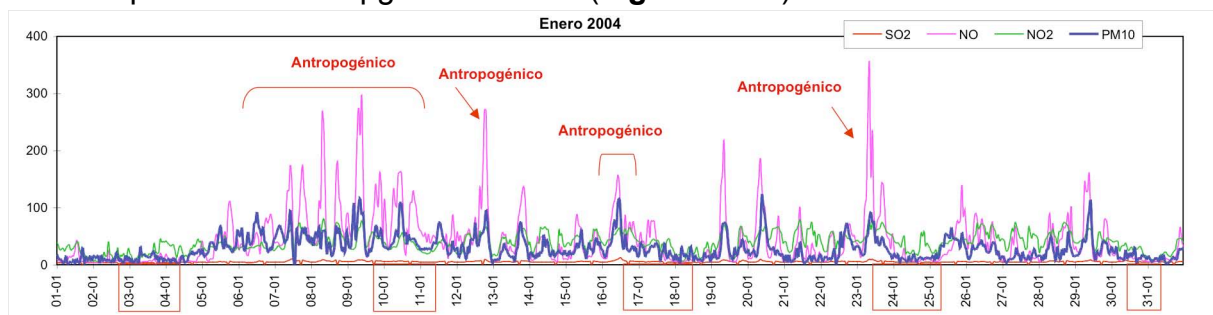


Figura VI.20. Valores horarios de PM10 y otros contaminantes para el mes de Enero en Beasain. Se indican los eventos de tipo antropogénico y los fines de semana (enmarcados).

Las superaciones se produjeron del 6 al 10 y el 16 de Enero. Se trata de picos que aparecen acompañados de un aumento importante de NO. Ni en los gráficos obtenidos del NAAPS ni en las predicciones del ICoD se observan indicios de la existencia de un aporte externo de material particulado, por lo que la contaminación se considera de carácter antropogénico y local.

Los días 12 y 23 de este mes se registró un pico puntual en la concentración de NO que coincide con el aumento puntual del PM10; correspondería a un episodio de contaminación antropogénico de tipo local, por el cual no se superaron los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 legislados.

Febrero 2004

Durante el mes de Febrero se superó en 10 ocasiones el límite de PM10 establecido por la normativa en Beasain (**Figura VI.21**).

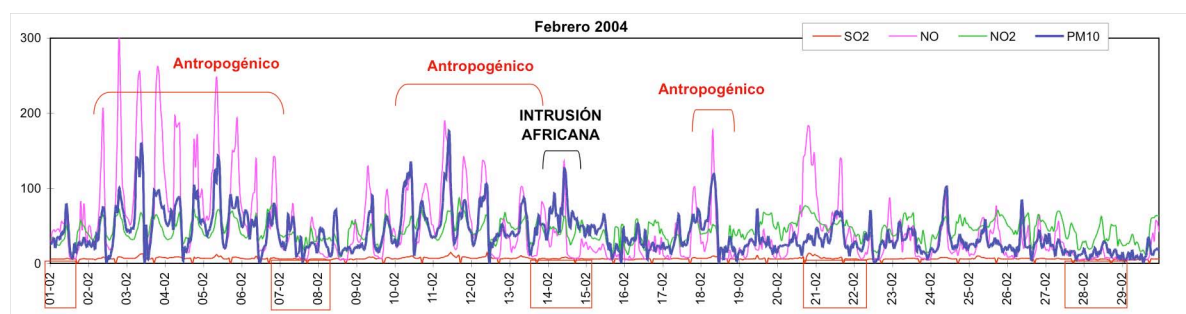


Figura VI.21. Valores horarios de PM10 y otros contaminantes para el mes de Febrero de 2004 en Beasain. Se indican los eventos de tipo antropogénico y africano, y los fines de semana (enmarcados).

Del 2 al 6 se registraron las primeras superaciones en Beasain. Las retrotrayectorias correspondientes a estos días apuntan hacia el Suroeste de la Península Ibérica como fuente del material particulado y las predicciones del ICoD (**Figura VI.22**) reflejan la existencia de una nube de partículas al Suroeste de la Península, sobre el Océano Atlántico, que no parecen afectar al País Vasco hasta el día 7 de Febrero. Debido a que no se registró un aumento importante de los niveles de PM10 en la estación de fondo regional de Izki (**Figura VI.23**), y que las superaciones en Beasain estuvieron acompañadas por un aumento importante de NO, suponemos que la causa de estas superaciones fue la contaminación antropogénica local.

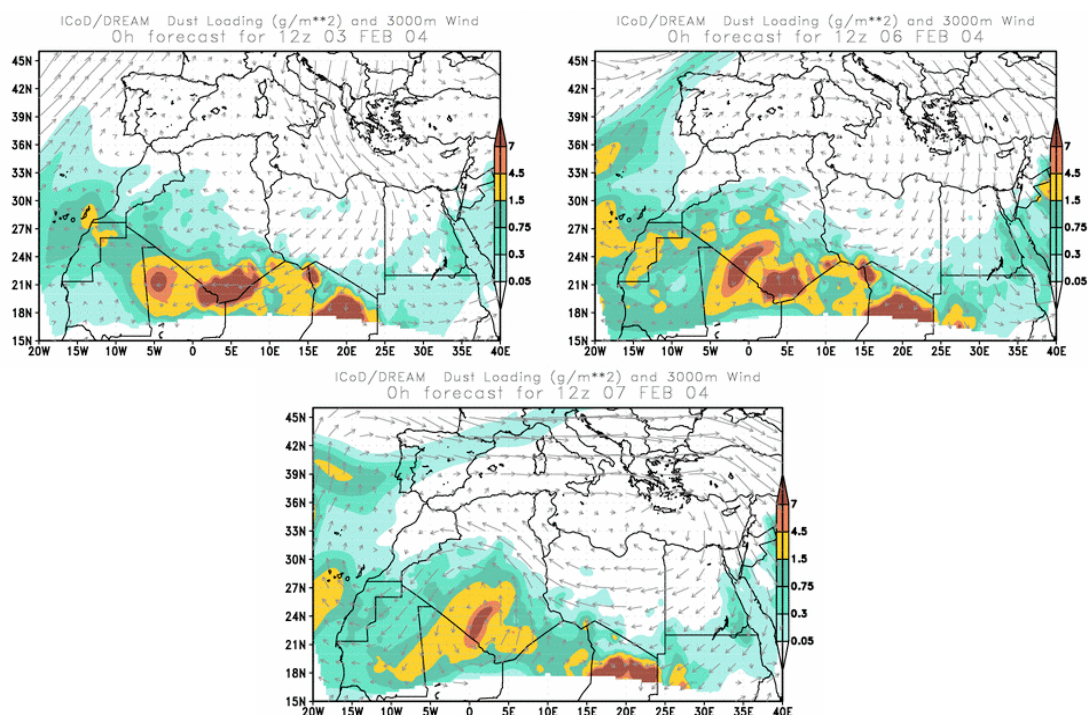


Figura VI.22. Predicción del ICoD para los días 3, 6 y 7 de Febrero de 2004.

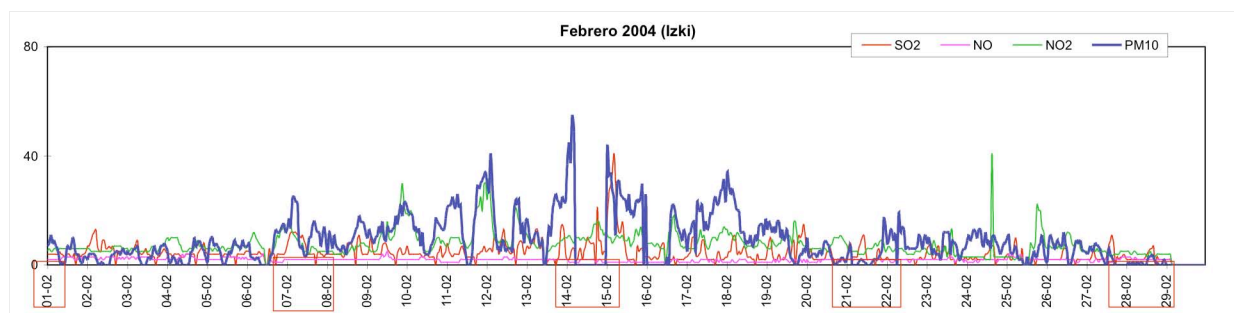


Figura VI.23. Valores horarios de PM10 y otros contaminantes para el mes de Febrero de 2004 en Izki. Se indican los eventos de tipo antropogénico y africano, y los fines de semana (enmarcados).

Del día 10 al 13 se registraron más superaciones en Beasain. Las retrotrayectorias correspondientes a estos días apuntan hacia Europa como fuente del material particulado y las predicciones del ICoD (**Figura VI.24**) reflejan la existencia de una nube de partículas al Suroeste de la Península Ibérica, sobre el Océano Atlántico, que no parecen afectar al País Vasco. Los elevados contenidos registrados en NO apuntan hacia una contaminación antropogénica de tipo local.

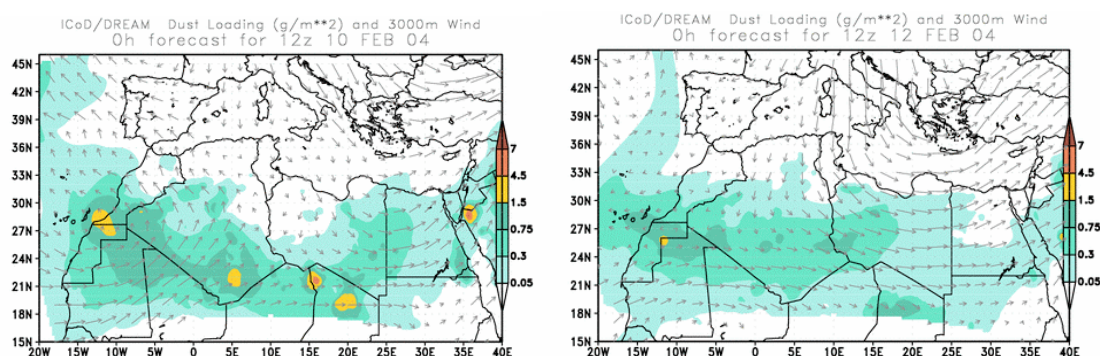


Figura VI.24. Predicción del ICoD para los días 10 y 12 de Febrero de 2004.

El 14 de Febrero se registró una nueva superación en Beasain. La retrotrayectoria correspondiente a este día apunta hacia el Suroeste de la Península como fuente del material particulado. Las predicciones del ICoD (**Figura VI.25**) reflejan la existencia de partículas al Suroeste de la Península que pudieron afectar al País Vasco. No existen elevados contenidos de NO para estos días, de modo que asumimos que la superación tuvo lugar a causa de una intrusión de material particulado desde el Norte de África.

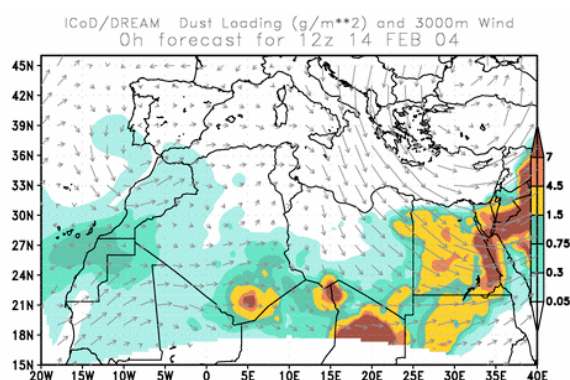


Figura VI.25. Predicción del ICoD para el día 14 de Febrero de 2004.

La última superación se produjo el día 18 de Febrero, acompañada también de un aumento en la concentración de NO. En las predicciones del ICoD no se observan indicios de la existencia de un aporte externo de material particulado, mientras que el NAAPS (**Figura VI.26**) muestra la presencia de

una cantidad importante de sulfatos sobre el Norte de la Península Ibérica. La superación observada durante este día parece no tener un origen natural, si bien su origen antropogénico no es tampoco claro ya que no se observan niveles altos de NO_2 ni SO_2 . Por tanto, deducimos que la contribución a las partículas es antropogénica de tipo local.

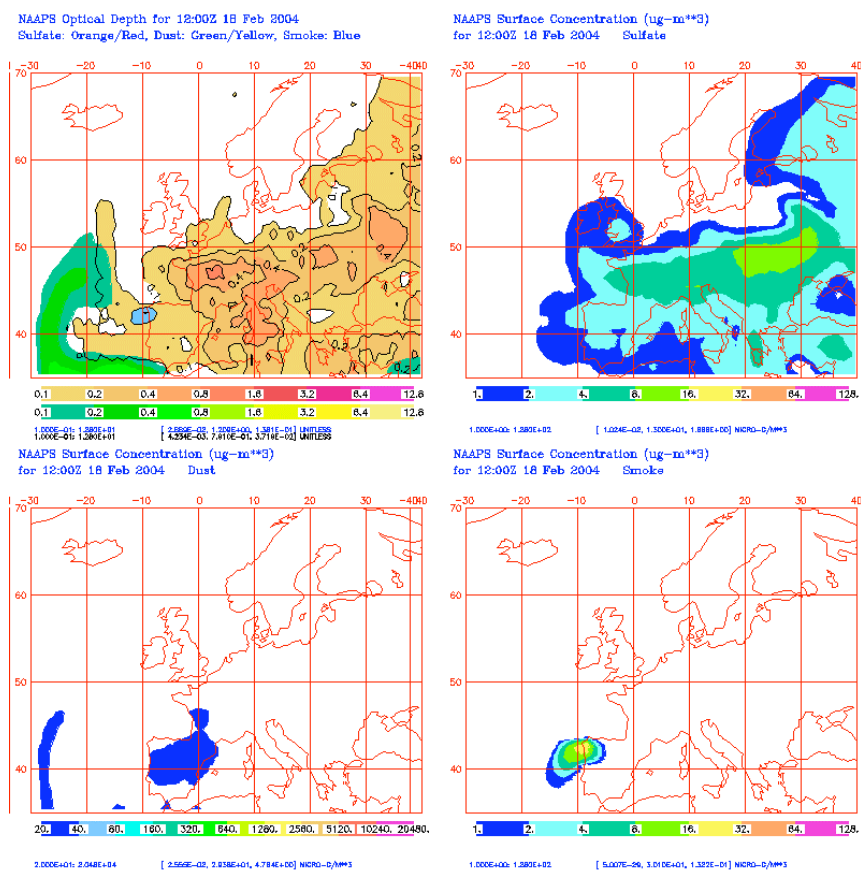


Figura VI.26. Mapas del NAAPS correspondientes al día 18 de Febrero de 2004.

Marzo 2004

Durante el mes de Marzo de 2004 el número de superaciones llegó hasta 12, alcanzándose el valor de $104,2 \mu\text{g/m}^3$ el día 3 de dicho mes (**Figura VI.27**).

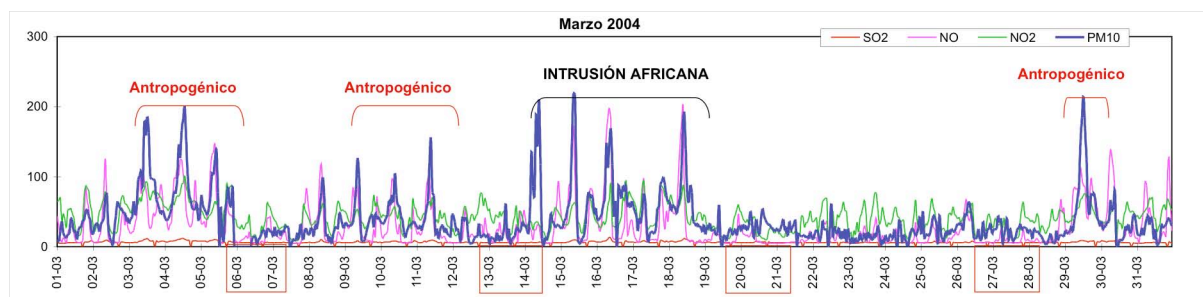


Figura VI.27. Valores horarios de PM10 y otros contaminantes para el mes de Abril de 2004 en Beasain. Se indican los eventos de tipo antropogénico y africano, y los fines de semana (enmarcados).

La primera superación de los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ permitidos por la legislación vigente se produjo del 3 al 5 de Marzo. Ni en los gráficos obtenidos del NAAPS ni en las predicciones del ICoD se observan indicios de la existencia de un aporte externo de material particulado desde el continente africano. La fotografía del SeaWIFS (**Figura VI.28**) para el día 5 muestra una nube de polvo muy cargada sobre el Océano, al Suroeste de la Península Ibérica, que no llega a afectar al País Vasco. Por tratarse de superaciones que vienen acompañadas de un aumento importante en la concentración de NO, atribuimos a la contaminación un carácter antropogénico de tipo local.

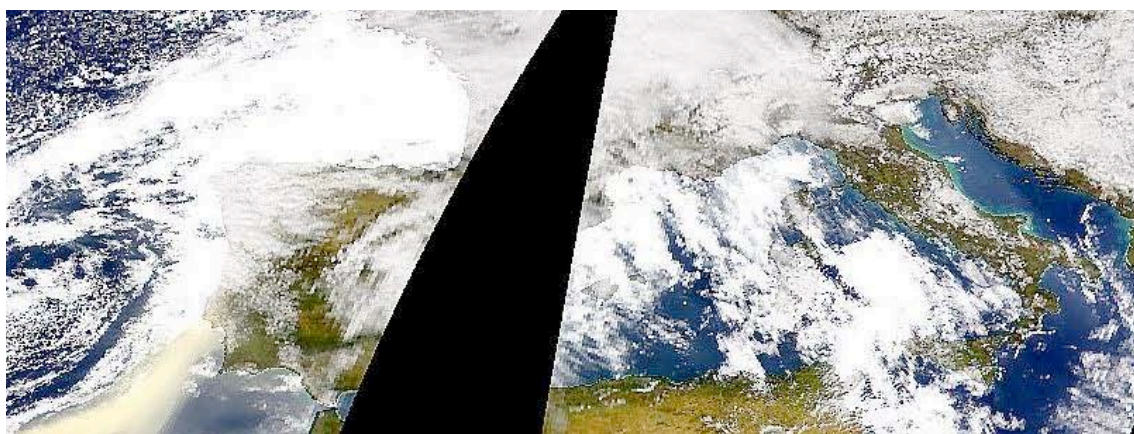


Figura VI.28. Fotografía del SeaWIFS correspondiente al día 5 de marzo de 2004.

Del 9 al 11 de Marzo se superaron de nuevo los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 permitidos por la legislación. Las retrotrayectorias correspondientes a estos días indican una procedencia europea para el material particulado. Tanto los gráficos del NAAPS como las predicciones del ICoD (**Figura VI.29**) reflejan el origen externo del material particulado para los días 9 y 10 de Marzo. Aun así, y debido a que este fenómeno no se registró en una estación de fondo regional como Izki (**Figura VI.30**) y que la superación viene acompañada por un aumento de NO, suponemos que la causa de esta superación es la contaminación antropogénica de tipo local.

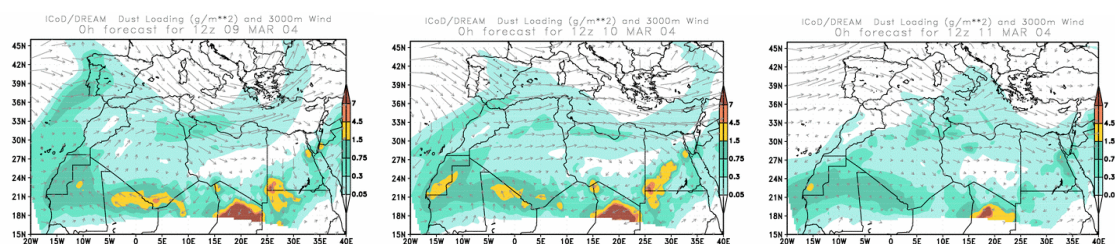


Figura VI.29. Predicción del ICoD para los días 9, 10 y 11 de Marzo de 2004.

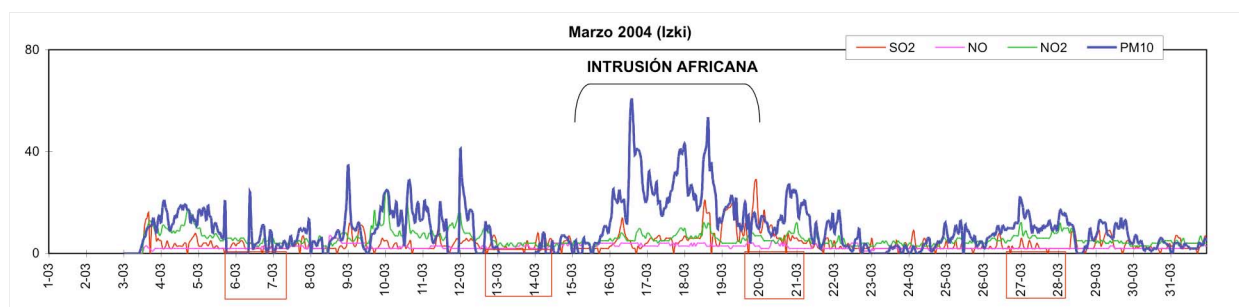


Figura VI.30. Valores horarios de PM10 y otros contaminantes para el mes de Marzo en Izki. Se indican los eventos de tipo antropogénico y africano, y los fines de semana (enmarcados).

La siguiente superación se produjo durante los días 14, 15, 16, 17 y 18. Las retrotrayectorias correspondientes a estos días indican una procedencia desde el Sur para el material particulado. Tanto los gráficos del NAAPS como las predicciones del ICoD reflejan el origen africano del material particulado y en la fotografía del SeaWIFS (**Figura VI.31**) se observa la existencia de gran cantidad de partículas para el día 16 de este mes.

También se observan picos de NO que atribuimos a la contribución por contaminación antropogénica local.

Por lo tanto, se deduce que la superación se debe a la intrusión de material exógeno, pero sin descartar un período de contaminación antropogénica local.

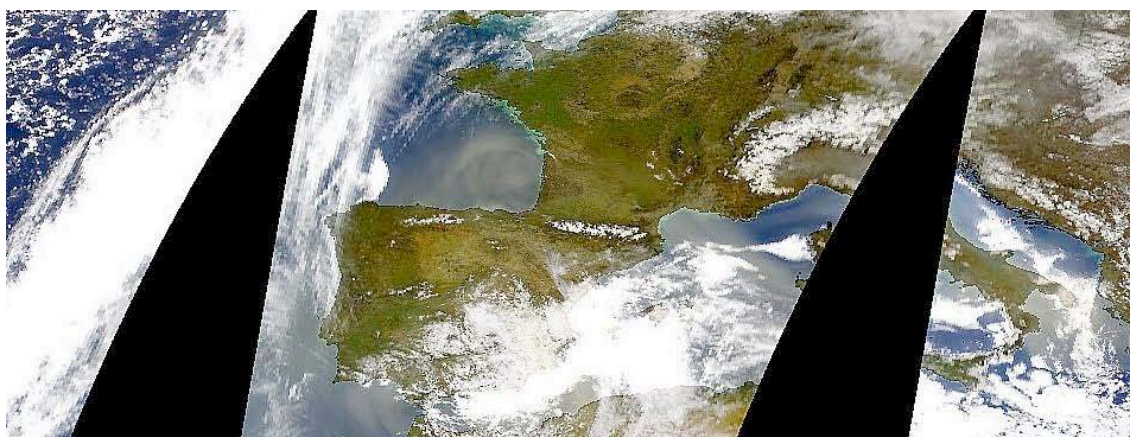


Figura VI.31. Fotografía del SeaWIFS correspondiente al día 16 de Marzo de 2004.

La última superación se produjo el día 29 de Marzo, acompañada también de un aumento en la concentración de NO. Las retrotrayectorias correspondientes a este día indican una procedencia mediterránea para el material particulado. Tanto los gráficos del NAAPS como las predicciones del ICoD reflejan el origen externo del material particulado. Aún así, y debido a que este fenómeno no se registró en una estación de fondo regional como Izki

(Figura VI.30) y que la superación estuvo acompañada por un aumento importante de NO, suponemos que la causa de esta superación fue la contaminación antropogénica local.

Abril 2004

Durante el mes de Abril de 2004, en Beasain se superó en 4 ocasiones el límite de PM10 establecido por la normativa (Figura VI.32).

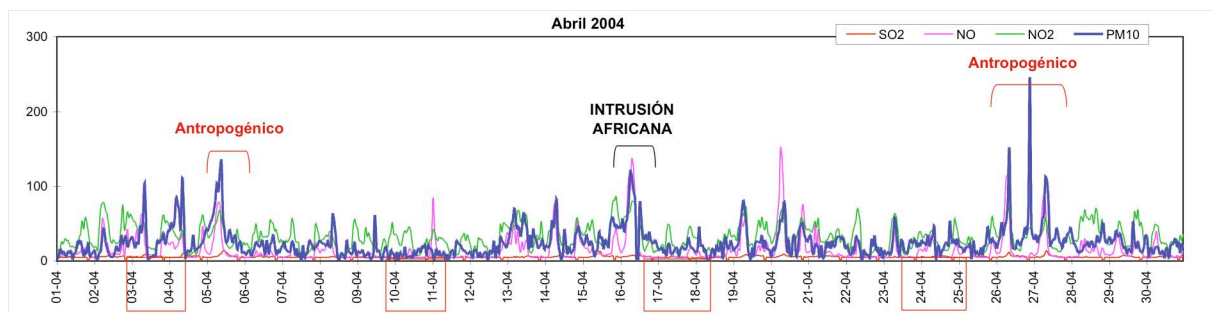


Figura VI.32. Valores horarios de PM10 y otros contaminantes para el mes de Abril de 2004 en Beasain. Se indican los eventos de tipo antropogénico y africano, y los fines de semana (enmarcados).

La primera superación se produjo el día 5 de Abril, acompañada de un aumento puntual en la concentración de NO debida a un aporte local de la contaminación. La retrotrayectoria correspondiente a este día indica la procedencia mediterránea del material particulado pero, tanto los gráficos del NAAPS, como las predicciones del ICoD, no reflejan un origen externo del material particulado.

La segunda superación se produjo el día 16 de Abril, acompañada de un aumento puntual en la concentración de NO debida a un aporte local de la contaminación. La retrotrayectoria correspondiente a este día indica la procedencia Norte-africana del material particulado. Tanto los gráficos del NAAPS como las predicciones del ICoD (Figura VI.33) reflejan el origen africano del material particulado.

La siguiente superación se produjo el 26 y 27 de Abril. En esta ocasión también tenemos un aumento puntual en la concentración de NO para ambos días, pero el día 26 hay un pico importante de PM10 que no coincide con el pico de NO. Las retrotrayectorias correspondientes a estos días indican una procedencia europea para el material particulado. Tanto los gráficos del NAAPS como las predicciones del ICoD (Figura VI.34.) no reflejan un origen

africano del material particulado y en la fotografía del SeaWIFS (**Figura VI.35**) no se observa la existencia partículas para el día 26 sobre la Península Ibérica.

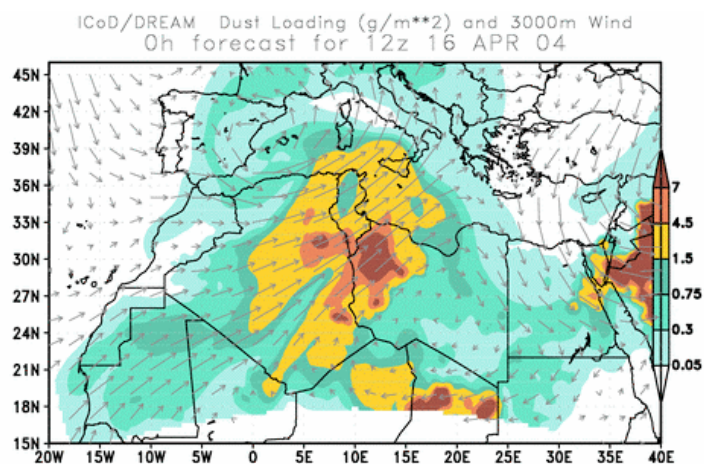


Figura VI.33. Predicción del ICoD para el día 16 de Abril de 2004.

Dado que no se observan niveles altos de NO_2 ni de SO_2 suponemos que la contaminación tuvo un origen local. No obstante estamos ante un evento de llegada de masas de aire envejecidas que provocan un aumento notable de la cantidad de partículas desde el día 24 al 28 de abril.

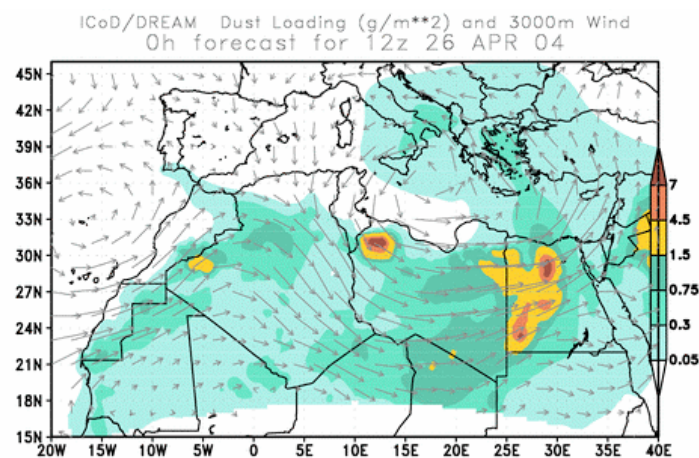


Figura VI.34. Predicción del ICoD para el día 26 de Abril de 2004.

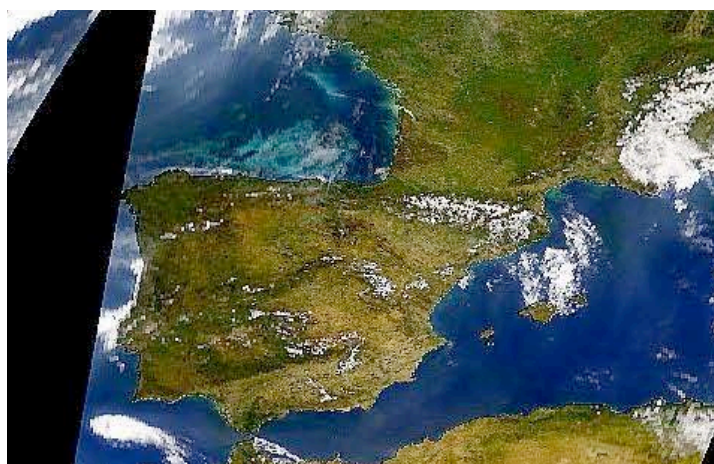


Figura VI.35. Fotografía del SeaWIFS para el día 26 de Abril de 2004.

Mayo 2004

Durante el mes de Mayo, en Beasain el límite máximo de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 se superó en 4 ocasiones (**Figura VI.36**).

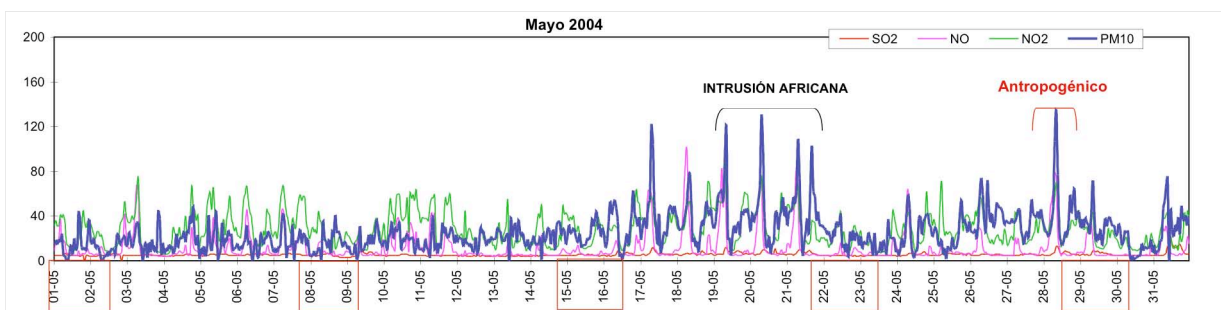


Figura VI.36. Valores horarios de PM10 y otros contaminantes para el mes de Mayo en Beasain. Se indican los eventos de tipo antropogénico y africano y los fines de semana (enmarcados).

A partir del día 19 y hasta el 21 se superó el límite de PM10 permitido por la normativa europea. Las retrotrayectorias para esos días indican una procedencia externa (mediterránea) de las partículas y las predicciones del ICoD (**Figura VI.37**) reflejan la existencia de un evento intrusivo de material particulado desde el Norte de África que alcanzaría claramente al País Vasco el día 21 de mayo. Las fotos del SeaWIFS (**Figura VI.38**) correspondientes a estos días, a pesar de la nubosidad, evidencian dicha intrusión. Estas superaciones a su vez vienen acompañadas de un aumento en la concentración de NO, de modo que puede atribuirse a la contaminación también un carácter antropogénico de tipo local.

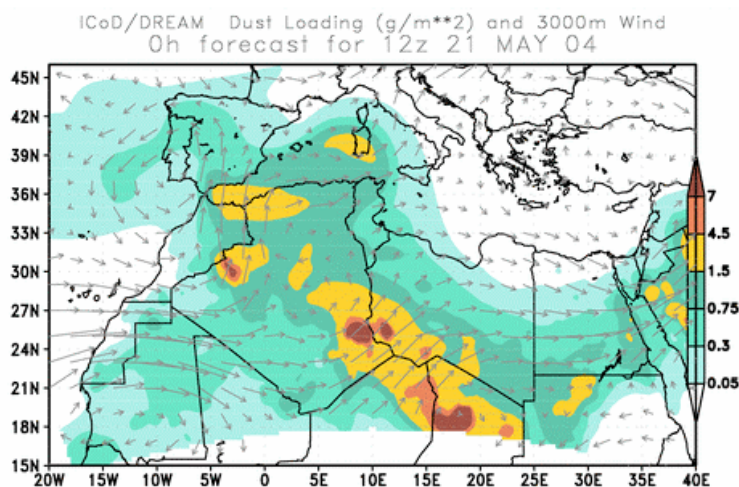


Figura VI.37. Predicción del ICoD para el día 21 de Mayo de 2004.

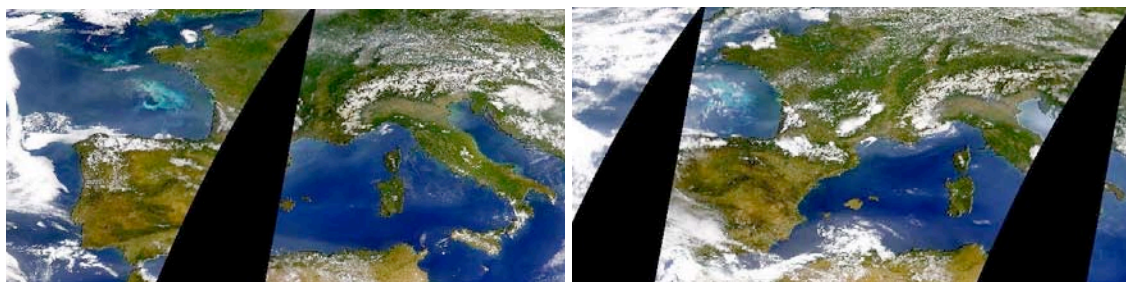


Figura VI.38. Fotografías del SeaWiFS correspondientes a los días 19 y 20 de Mayo.

La siguiente superación del valor permitido por la normativa se produjo el 28 de Mayo. Las predicciones del ICoD apuntan a la existencia de una intrusión africana para los días 26 y 27 de mayo pero no para el día 28 de este mes. Hay un aumento puntual en la concentración de NO que coincide con un pico puntual de PM10 para este día, lo que correspondería a un episodio de contaminación antropogénico de tipo local.

Junio 2004

Durante este mes se superó en una ocasión el límite máximo de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 (**Figura VI.39**).

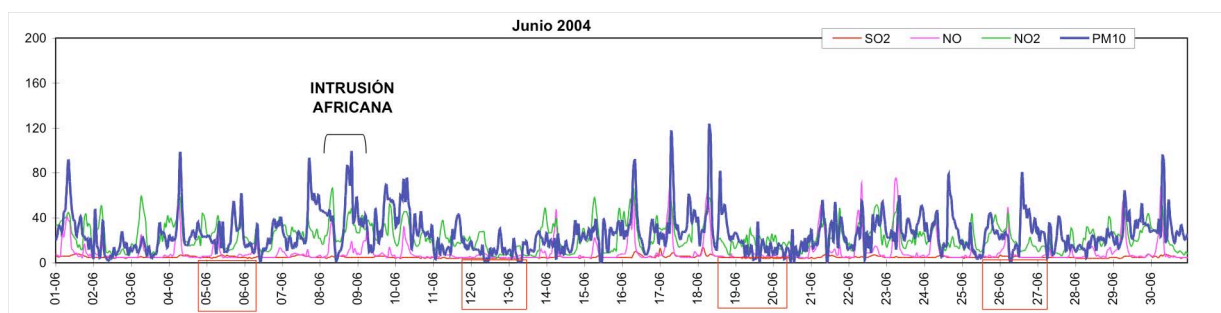


Figura VI.39. Valores horarios de PM10 y otros contaminantes para el mes de Junio de 2004 en Beasain. Se indican los eventos de tipo antropogénico y africano, y los fines de semana (enmarcados).

El 8 de Junio se produjo la única superación en ese mes del límite de PM10 permitido por la normativa europea. La retrotrayectoria para este día indica una procedencia Norte-africana de las partículas. Tanto los gráficos del NAAPS y TOMS (**Figura VI.40**), como las predicciones del ICoD, reflejan la existencia de un evento intrusivo de material particulado desde el continente africano y en la fotografía del SeaWiFS (**Figura VI.41**) para el día 9 de Junio puede observarse, a pesar de la nubosidad, una gran cantidad de partículas sobre la Península Ibérica.

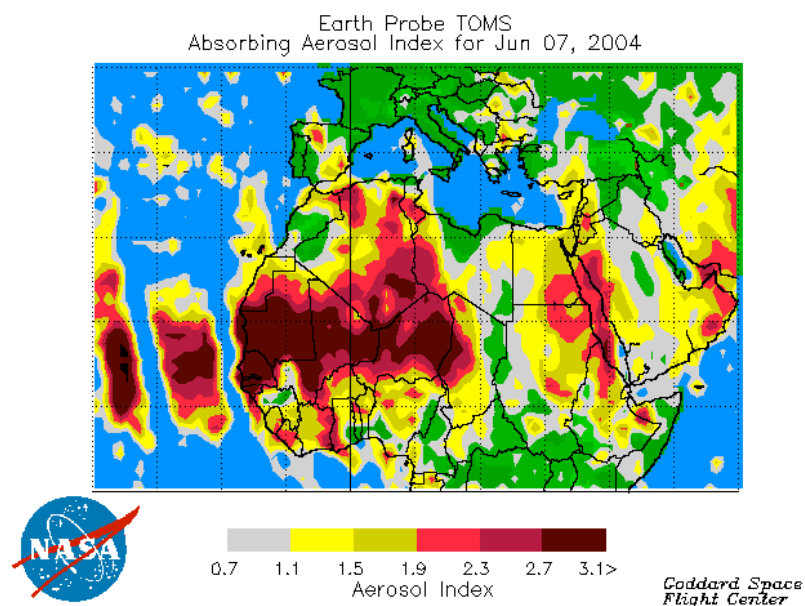


Figura VI.40. Mapa de aerosoles del TOMS correspondiente al día 7 de junio de 2004.



Figura VI.41. Fotografía del SeaWIFS para el día 9 de junio de 2004.

Julio 2004

Durante este mes se superó en una ocasión el límite máximo de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 (Figura VI.42).

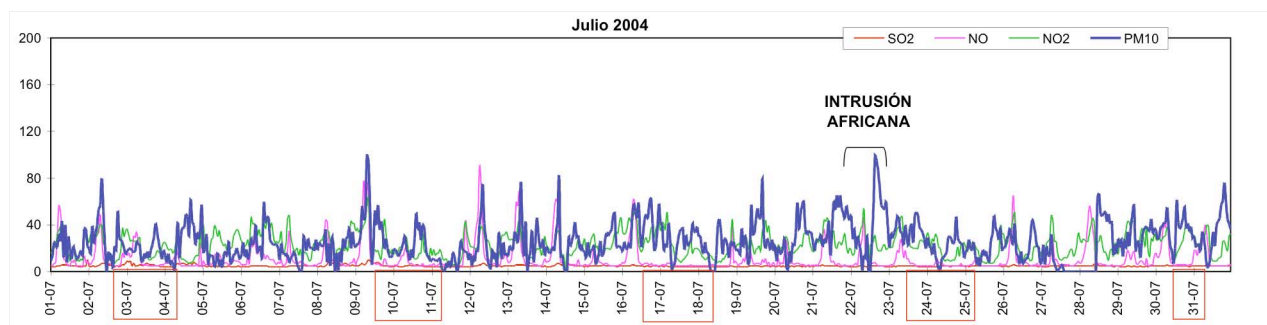


Figura VI.42. Valores horarios de PM10 y otros contaminantes para el mes de Junio en Beasain. Se indican los eventos africano y los fines de semana (enmarcados).

El 22 de Julio se produjo la única superación durante este mes del límite de PM10 permitido por la normativa europea. La retrotrayectoria para este día indica una procedencia Norte-africana de las partículas. Tanto los gráficos del NAAPS (**Figura VI.43**) como las predicciones del ICoD reflejan la existencia de un evento intrusivo de material particulado desde el continente africano, mientras que en la fotografía del SeaWIFS (**Figura VI.44**) para el día 22 de Julio puede observarse, a pesar de la nubosidad, una gran cantidad de partículas sobre la Península Ibérica.

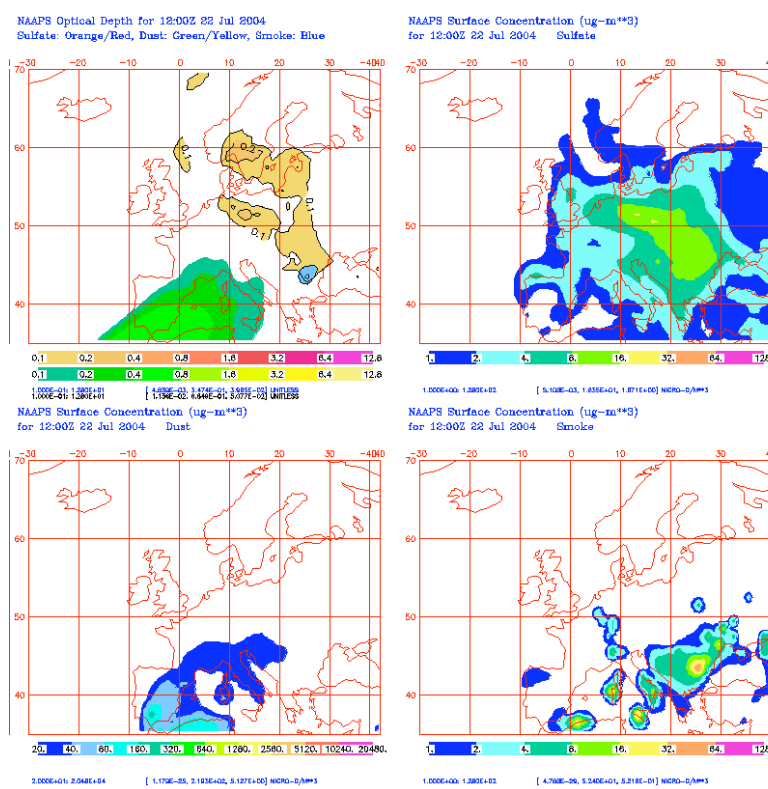


Figura VI.43. Gráficos del NAAPS correspondientes al día 22 de Julio de 2004.

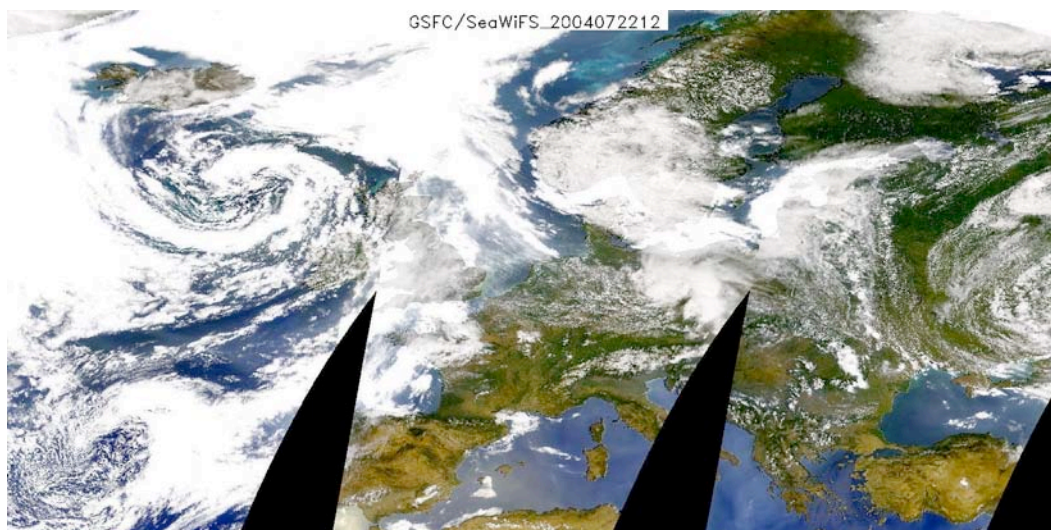


Figura VI.44. Fotografía del SeaWIFS para el día 22 de julio de 2004.