

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



aireaAIRE

2003



EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO

INGURUMEN ETA LURRALDE
ANTOLAMENDU SAIA



DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE
Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

 **ingurumena.net**

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

Fecha de edición: 2003

Autor: Marina Menéndez, José Ignacio Gil Ibargutxi
Departamento de Mineralogía y Petrología (UPV/EHU)

Xabier Querol, Andrés Alastuey, Mar Viana
Instituto Ciencias de la Tierra Jaume Almera (CSIC)

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

INTRODUCCIÓN

Marco legal

En la legislación hasta ahora vigente en España, el control del material particulado en suspensión se realizaba mediante las medidas de humos negros (HN) y partículas en suspensión totales o TSP (Reales Decretos 1613/1985 y 1321/1992, BOE nº 219 y 289 de 12/9/85 y 2/12/92 respectivamente, incorporación de las Directivas 80/779/CEE y 89/427/CEE al territorio Español).

El Consejo de las Comunidades Europeas adoptó el 27 de Septiembre de 1996 la directiva 96/62/CE sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente. Esta Directiva, denominada Directiva marco sobre calidad del aire, habría de constituir el marco de referencia de la futura legislación comunitaria en materia de calidad del aire. En el Anexo I de dicha Directiva, se mencionan explícitamente aquellos contaminantes que en un futuro habrán de ser objeto de atención figurando, entre otros, las partículas o material particulado atmosférico. Por ello, y con objeto de establecer los valores límite a los que deben ajustarse estos contaminantes, las fechas límite para la consecución de dichos valores y los requisitos para la evaluación de las concentraciones e información al público sobre los mismas, se ha elaborado la Directiva 1999/30/CE referida a las partículas en el aire ambiente, junto a otros contaminantes como el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y plomo. Entre los objetivos de esta Directiva figura el de establecer nuevos estándares de calidad del aire para el material particulado atmosférico, lo que en España conllevará un cambio del parámetro a medir, pasando del HN y PST al PM₁₀, es decir, material particulado de tamaño inferior a 10⁻³ m, así como una mayor restricción en los valores de inmisión permitidos (Tabla 1). El 30 de Octubre de 2002 entró en vigor el Real Decreto 1073/2002 que traspone a la legislación española la mencionada Directiva 1999/30/CE.

Al contrario que otros contaminantes, el material particulado atmosférico (MPA) es emitido por una gran variedad de fuentes, en función de las cuales varían sus propiedades físicas (tamaño, superficie específica, densidad o número) y su composición química. Tanto las partículas de origen natural como las de origen antropogénico pueden ser clasificadas, en función de su mecanismo de formación, como partículas primarias o secundarias. Se denominan primarias a las partículas que son vertidas directamente en la atmósfera desde la fuente de emisión. Las partículas

secundarias se originan a partir de las emisiones de sus precursores gaseosos. La transformación de gas a partícula puede tener lugar directamente (nucleación homogénea) o mediante la intervención de fases gaseosas y/o líquidas y/o sólidas (nucleación heterogénea)

Tabla 1. Cambio legislativo para el control del material particulado atmosférico.

Actual Normativa			Futura Normativa	
	Desde 1992		Fase I 2005	Fase II 2010
Parámetro de referencia	PST		PM10	PM10
I.	Valor límite anual	150	40	20
II.	Valor límite diario	300	50	50
	Nº de Superaciones permitidas	18	35	7

Fuentes y características de las partículas en suspensión

Partículas Naturales

Dentro de las partículas primarias naturales destaca la fracción mineral, con origen en las emisiones naturales fugitivas de los suelos. La composición química y mineralógica de estas partículas varía de una región a otra dependiendo de las características y composición de los suelos, pero generalmente esta constituida por calcita (CaCO_3), cuarzo (SiO_2), dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], arcillas [sobre todo caolinita, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, e illita, $\text{K}(\text{Al,Mg})_3\text{SiAl}_{10}(\text{OH})$], feldspatos [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. En el sur de Europa estas emisiones proceden tanto de la resuspensión local como de aportes externos tales como las intrusiones de masas de aire del Norte de África. Las emisiones volcánicas también pueden constituir una fuente natural de partículas primarias minerales y secundarias.

La superficie de los mares y océanos representa también una fuente de partículas, generadora del aerosol marino. La fracción primaria del aerosol marino está principalmente compuesta por cloruros (ej., NaCl) y sulfatos (ej., MgSO_4 o K_2SO_4).

Las fuentes biogénicas de material particulado primario dan lugar a la fracción que se ha venido a denominar residuos biológicos, constituidos por restos vegetales (tales como el polen, esporas, fragmentos de plantas) y microorganismos. En la fracción secundaria de partículas naturales los compuestos más relevantes son los sulfatos, nitratos y los aerosoles orgánicos secundarios. Los sulfatos se forman a través de procesos de oxidación de distintos gases sulfurados naturales, tales como las emisiones de SO_2 en volcanes, o la oxidación del dimetilsulfuro $[(\text{CH}_3)_2\text{S}]$, compuesto biogénico emitido en la superficie de los mares y océanos]. Los nitratos secundarios naturales se forman como consecuencia de la oxidación de los óxidos de nitrógeno (NO_x), cuyas fuentes naturales se encuentran en la transpiración de los suelos y en las descargas eléctricas que tienen lugar en las tormentas. Las principales fuentes de precursores gaseosos de aerosoles orgánicos secundarios se encuentran en las grandes extensiones de masa vegetal, donde las plantas emiten grandes cantidades de compuestos orgánicos volátiles (VOC). Estos compuestos están formados principalmente de carbono e hidrógeno y, en menor proporción por azufre. Existen especies típicamente mediterráneas de arbustos y árboles que generan una gran cantidad de compuestos orgánicos volátiles.

Partículas antropogénicas

Las principales fuentes antropogénicas de material particulado se encuentran en zonas urbanas e industriales. En numerosos estudios se ha concluido que en ámbitos urbanos el tráfico constituye la fuente más importante de partículas primarias, las cuales pueden proceder tanto de las emisiones de los motores de los vehículos como del desgaste de pavimento, neumáticos y frenos. El material particulado emitido por los motores es, principalmente, materia carbonosa de color negro (black-carbon).

Dentro de la amplia variedad de actividades industriales, los combustibles fósiles representan una importante fuente de materia particulada primaria, especialmente la combustión del carbón. Otras actividades, como la fundición de metales tales como el cobre o el cinc, o bien la producción de cemento, cerámica y ladrillos también representan importantes fuentes de partículas primarias. Además de las partículas primarias emitidas en las chimeneas, en determinados procesos industriales se emiten partículas primarias mediante la manipulación de las mismas en materiales pulverulentos, a estas emisiones se les denominan fugitivas. Actividades como la construcción, minería, determinados procesos en la fabricación de cerámicas o

cementos, así como la emisión fugitiva de partículas durante el transporte desde zonas industriales, representan una fuente de partículas asociadas a la manipulación.

Las actividades agrícolas también representan una fuente de partículas primarias en el aire debido al movimiento de las tierras, emisiones de residuos biológicos o la quema de biomasa, a través de pastos o rastrojos.

Los principales componentes de las partículas secundarias antropogénicas son los sulfatos, nitratos y aerosoles orgánicos secundarios. El principal mecanismo de formación de sulfatos a partir de fuentes antropogénicas es la oxidación del SO_2 . Las emisiones gaseosas de SO_2 tienen lugar en procesos de combustión de combustibles fósiles, principalmente el carbón en centrales térmicas y en plantas industriales. La oxidación del SO_2 da lugar a formación de ácido sulfúrico (H_2SO_4), el cual puede o no ser neutralizado por reacción con amoníaco (NH_3), amonio (NH_3^+) o carbonato cálcico (CaCO_3), dando lugar a compuestos como el sulfato ácido de amonio (NH_4HSO_4), el sulfato neutro de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) o el sulfato doble de calcio y amonio [$\text{Ca}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$]. Las principales fuentes de amonio se encuentran en la agricultura, así como en distintas emisiones industriales.

Los precursores gaseosos antropogénicos más importantes de nitratos son los óxidos de nitrógeno (NO_x) emitidos por los automóviles, procesos industriales y en determinadas plantas de producción eléctrica. Estos óxidos de nitrógeno se oxidan a ácido nítrico (HNO_3 , gas) que, mediante reacción con amoníaco, puede dar lugar a nitrato amónico (NH_4NO_3 , sólido). En zonas costeras, el nitrato amónico reacciona con el cloruro sódico de manera que se genera nitrato sódico (NaNO_3 , particulado) y cloruro amónico (NH_4NO_3 , volátil).

Los hidrocarburos que hacen de precursores gaseosos de aerosoles orgánicos secundarios tienen su origen en fuentes vegetales, como las grandes extensiones de cultivos o, en general, la quema de biomasa o combustibles fósiles. Según algunos autores, los hidrocarburos no metánicos aromáticos son también importantes precursores de aerosoles orgánicos secundarios (origen en la gasolina).

Distribución de tamaños de partícula

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 1 se muestra una distribución idealizada de masa de partículas por tamaños, en ella se puede apreciar la distinción convencional entre "partículas finas" y "partículas gruesas".

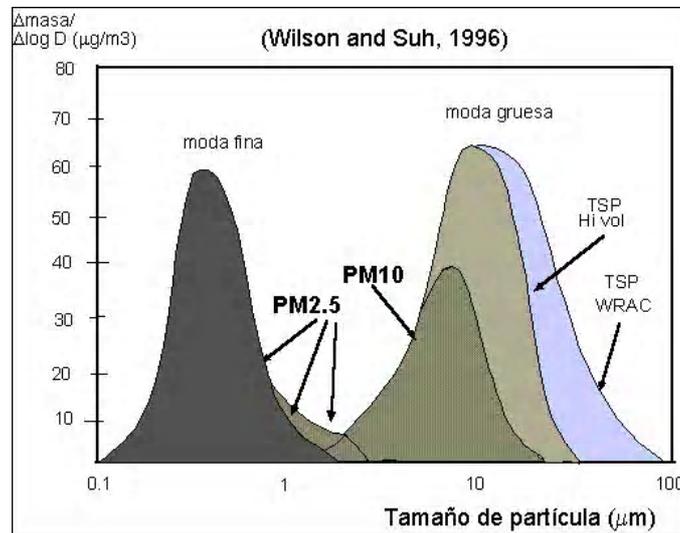


Figura 1. Distribución de masa de partícula por tamaño idealizada (US EPA, 1996).

El modo 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 y a procesos industriales de molienda y pulverización.

Las partículas gruesas ($> 2.5 \mu\text{m}$) son básicamente primarias y se generan por procesos mecánicos y de evaporación. Los procesos mecánicos de reducción de tamaño encuentran su límite inferior en $1 \mu\text{m}$, por lo que no afectan a partículas inferiores a este tamaño. En este rango las fuentes más importantes son los aportes minerales crustales locales o transportados a larga distancia, el aerosol marino, partículas biológicas (restos vegetales) y partículas primarias derivadas de procesos industriales o del tráfico (ej., restos de neumáticos, frenos o asfalto). De entre las pocas partículas secundarias que se forman por encima de las $2.5 \mu\text{m}$, hay que

destacar a los nitratos, cuya distribución granulométrica se extiende desde 1.0 hasta 10 μm , dependiendo de los cationes con los que se combine.

Una vez conocidas las principales fuentes naturales y antropogénicas de MPA cabe plantearse cual es la importancia de cada una de ellas en las emisiones anuales. Las emisiones globales naturales y antropogénicas se estiman en $3.4 \times 10^9 \text{t/año}$ (IPCC, 1996). Las emisiones antropogénicas no representan mas que el 10 % de las emisiones totales ($0.37 \times 10^9 \text{t/año}$), mientras que solamente las emisiones primarias naturales representan el 84 % ($2.9 \times 10^9 \text{t/año}$). Dentro de las emisiones antropogénicas el 85 % son atribuidas a partículas secundarias ($0.26 \times 10^9 \text{t/año}$). De este modo se puede decir que, a escala global, las partículas naturales son, en general, primarias, mientras que las de origen antropogénico tienden a ser secundarias.

Los contaminantes gaseosos

Si bien el presente estudio se centra en el estudio del material particulado atmosférico (PM10 y PM2.5), a la hora de interpretar los datos obtenidos resulta de gran ayuda para establecer episodios de contaminación local correlacionarlos con datos de otros contaminantes atmosféricos. Los contaminantes considerados de interés por la Directiva 96/62/CE del Consejo, de 27 de Septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de calidad del aire ambiente son, además de las partículas en suspensión, los siguientes:

- **Dióxido de azufre** asociado con el contenido en azufre de los combustibles fósiles, está por tanto relacionado con la combustión del gasoleo y carbón en las centrales térmicas, determinados procesos industriales y en las calefacciones domésticas.
- El **monóxido de carbono** procede tanto de fuentes naturales – océanos, suelos, vegetación e incendios forestales – como antropogénicas. En estas últimas, el CO está relacionado con la combustión incompleta de la materia orgánica de manera que en la atmósfera urbana las principales fuentes de emisión son los vehículos de gasolina.
- Los **óxidos de nitrógeno** se forman por oxidación del nitrógeno atmosférico durante los procesos de combustión. Mayoritariamente son emitidos en forma de NO que rápidamente se oxida en la atmósfera para dar NO₂. La mayor parte de

las emisiones corresponden al tráfico de vehículos y, en menor medida, a las centrales térmicas y actividades industriales.

- El **ozono**, compuesto esencial en la estratosfera, es un contaminante en la troposfera. Las principales fuentes del ozono troposférico son el intercambio con la estratosfera y su producción por reacción de óxidos de nitrógeno o hidrocarburos.

Objetivos

El presente estudio tenía por objeto realizar un análisis de contribución de fuentes de emisión sobre los niveles de PM10 y PM2.5 (material particulado en suspensión inferior a 10 y 2.5 micras, respectivamente) en una zona de fondo urbano con influencia esporádica de las emisiones industriales de polígonos adyacentes. La estación de muestreo seleccionada es una cabina instrumentada para el control de la calidad del aire de la red del Gobierno Vasco, concretamente la estación de Abanto.

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

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

La segunda de las fases corresponde a la caracterización química de las partículas en suspensión (PM10 y PM2.5), así como la aplicación de modelos receptores para el estudio de contribución cuantitativa de fuentes. Estos son modelos basados en tratamiento numérico de los resultados que, mediante análisis de componentes principales, detectan en una primera etapa, las fuentes principales de emisión con impacto en los niveles de PM10 y PM2.5. Una vez identificadas las fuentes, se lleva a cabo un análisis de regresión multilinear que permite cuantificar la contribución de cada fuente sobre los niveles diarios de PM10 y PM2.5.

Zona de estudio

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

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

En 1872 se puso en funcionamiento el primer alto horno del País Vasco y en 1901 se crearon los Altos Hornos de Vizcaya.

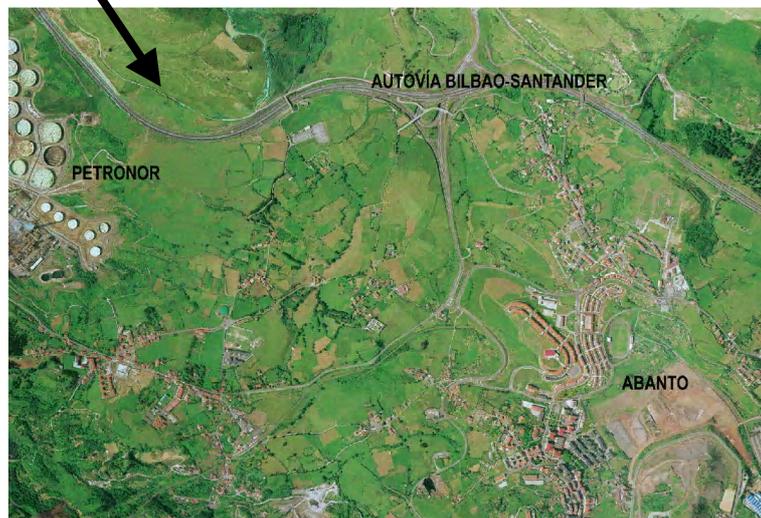
Hoy día, las grandes industrias se han ido reconvirtiendo en empresas de menor entidad pero más especializadas y además de algunas metalúrgicas que hoy siguen funcionando, cabe destacar la existencia de centrales térmicas, una refinería, así como industrias químicas dedicadas a la fabricación de ácidos sulfúrico, nítrico, fertilizantes, etc.

Justo en el extremo Noroeste del valle del Nervión, y muy próxima al mar, se encuentra situada la localidad de Abanto objeto del presente estudio (Figura 2). Esta localidad, que cuenta con más de 8.000 habitantes, se encuentra situada en la provincia de Vizcaya a 43° de latitud norte y 3° de longitud oeste, a una altitud de 70 m sobre el nivel del mar.

Tal y como se aprecia en la fotografía aérea (Figura 2), muy próxima a la localidad de Abanto se encuentra la refinería de Petronor y la Autovía Bilbao-Santander de tráfico intenso que la rodea por el norte y el este.



Figura 2. Localización geográfica de la localidad de Abanto. Fotografía aérea de la zona de estudio (fuente, página web de la Diputación de Vizcaya).



Metodología

La red de Control de Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco está integrada por 53 estaciones, localizadas principalmente en el área del Bajo Nervión-Ibaizabal debido a la alta densidad industrial. Estas estaciones están situadas en los

principales núcleos de población, por lo que son emplazamientos de tipo urbano-urbano residencial, con influencia industrial.

La estación de Abanto puede considerarse como residencial con influencia esporádica de emisiones industriales debido a la proximidad de un polígono petroquímico de grandes dimensiones, con una menor influencia del tráfico

Los edificios más próximos a la estación (Figura 3) son viviendas de 3-4 plantas y el Ayuntamiento, un edificio de 4 plantas sobre cuyo tejado se encuentra situada la estación meteorológica del Gobierno Vasco. La carretera más cercana es la que discurre por el centro de la ciudad, se encuentra a una distancia de unos 40 m de la estación y apenas si presenta tráfico pesado. El Ayuntamiento, que es el edificio más próximo, se encuentra a una distancia de 15 m, quedando, por tanto, descartada cualquier posible interferencia con las condiciones meteorológicas. La cercanía de este edificio, donde además tiene sede la policía municipal, asegura la protección frente al vandalismo. La cabina presenta un buen estado exterior y está claramente identificada, permitiendo asegurar además unas condiciones de seguridad óptimas para la instalación de nuevos equipos.

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

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

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