

## **Análisis de tendencias de la calidad del aire en la C.A.P.V.**

**Ponente:** Amaia Albizuri técnico responsable del trabajo llevado a cabo por  
**Environment and Systems, S.A.** para Ihobe, S.A.

**Environment and Systems, S.A.** <sup>o</sup>/ Luis Briñas 9 1º izda 48013 Bilbao

<http://www.environmentandsystems.com> e-mail: [eyes@environmentandsystems.com](mailto:eyes@environmentandsystems.com)

### **Introducción**

El Título Segundo de la Ley 3/98, General de Protección del Medio Ambiente del País Vasco, aborda la protección de los recursos ambientales inspirándose, incluyendo el medio atmosférico aplicando lo dispuesto en la normativa comunitaria.

En el Artículo 30 de la Ley se establece que la política de protección de la atmósfera estará orientada a prevenir, vigilar y corregir la presencia en el aire de materias que impliquen riesgo, daño o molestia para las personas. Entre las acciones a desarrollar expuestas en el Artículo 31 están la evaluación de la calidad del aire y la obtención de información adecuada para el mantenimiento de una buena calidad del aire y la mejora de la misma en su caso.

La Red de vigilancia y control de la calidad del aire de la CAPV tiene sus antecedentes en la década de los 70 cuando la situación ambiental de la cuenca del bajo Nervión-Ibaizabal era mala. Una vez consolidada la red de estaciones en esta zona prioritaria se amplió la cobertura espacial al resto de la Comunidad y es a partir del año 1995 cuando se comienza a medir en otras zonas, dando cumplimiento a la exigencia de la Directiva 96/62/CE sobre evaluación y gestión de la calidad del aire de evaluar y de disponer de información adecuada de la calidad del aire en todo el territorio.

En este informe se presenta el primer análisis de tendencias de la calidad del aire efectuado y abarca los 10 años transcurridos desde 1996 hasta 2005.

Los cinco contaminantes que son objeto de análisis son descritos en la Tabla 1 incluyendo su descripción, así como su origen y posibles efectos en la salud.

**Tabla 1.** Descripción y características de los contaminantes estudiados.

Contaminante	Fuente	Efectos en la salud
<b>Dióxido de azufre SO<sub>2</sub></b>		
Gas sin color, acre y reactivo.	Se forma por la combustión de fuel y carbón con contenido de azufre. Las principales fuentes son centrales térmicas, refinerías y fundiciones.	Concentraciones altas provocan irritación los ojos, nariz y garganta, y agravan los síntomas de asma y bronquitis crónica.  Exposiciones prolongadas a concentraciones moderadas pueden causar daños en los pulmones.
<b>Monóxido de carbono CO</b>		
Gas tóxico a altas concentraciones, sin color ni olor.	Es producido por la combustión incompleta de fuel con contenido en carbón. Los vehículos a motor son la mayor fuente de estas emisiones.	El monóxido de carbono se combina con la hemoglobina en la corriente sanguínea y reduce el transporte de oxígeno a los órganos y tejidos del cuerpo. Los daños en la salud son mayores en aquellas personas que sufren de enfermedades cardiovasculares.
<b>Dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub></b>		
Gas altamente reactivo de color pardo.  Uno de los óxidos de nitrógeno que juega una mayor papel en la formación de smog	Las principales fuentes de emisión de óxidos de nitrógeno son los vehículos a motor y las industrias tales como las centrales térmicas.	Los efectos en la salud debido a exposiciones de NO <sub>2</sub> de período corto de tiempo incluyen el incremento de enfermedades respiratorias

Contaminante	Fuente	Efectos en la salud
fotoquímico.		en niños. Exposiciones de período de tiempo largo pueden disminuir la resistencia a infecciones respiratorias.
<b>Ozono O<sub>3</sub></b>		
Gas altamente reactivo sin color y un olor acre Es el componente principal del smog fotoquímico.	A nivel de la superficie terrestre es un contaminante secundario, no es emitido directamente sino que se forma, en presencia de radiación solar, como resultado de reacciones químicas en las que participan óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COVs). Existen muchas y muy variadas fuentes de COVs como vehículos a motor, refinerías, plantas químicas y vegetación (biogénicos).	Produce efectos adversos en varias partes del sistema respiratorio. Exposiciones de período corto de tiempo pero de forma prolongada están asociadas con significativos deterioros en la función de los pulmones e incrementos de problemas respiratorios, así como agravamientos de enfermedades respiratorias preexistentes como el asma.
<b>Partículas PM<sub>10</sub></b>		
De diámetro menor o igual a 10 µm, son las llamadas partículas "inhalables".	Las mayores fuentes de partículas incluyen vehículos de motor, centrales térmicas, otras industrias, calderas domésticas, procesos fotoquímicos así como quemaduras e incendios.	Las partículas inhalables están asociadas con efectos adversos en la salud incluyendo el incremento de problemas respiratorios y agravamiento del asma provocando incremento de ingresos hospitalarios y muertes prematuras. El riesgo es mayor en gente mayor, niños y personas con asma o enfermedades coronarias.

En la Tabla 2 y 3 se presentan el listado de la normativa aplicable y los valores límite y objetivo para la protección de la salud.

**Tabla 2.** Listado de normativa aplicable.

**Directiva 96/62/CE** de 27 de setiembre de 1996 sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente (MARCO)

**Directiva 1999/30/CE** de 22 de abril de 1999 relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente (HIJA)

**Directiva 2000/69/CE** de 16 de noviembre de 2000 sobre los valores límite para el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente (HIJA)

*TRASPUESTAS a la legislación española: R.D. 1073/2002 de 18 de octubre (BOE 30/10/2002)*

**Directiva 2002/3/CE** de 12 de febrero de 2002 relativa al ozono en el aire ambiente

*TRASPUESTA a la legislación española: R.D. 1796/2003 de 26 de diciembre (BOE 13/1/2004)*

**Tabla 3.** Valores límite y objetivo para la protección de la salud humana.

Período	Valor límite	Fecha de entrada en vigor
<b>Dióxido de azufre SO<sub>2</sub></b>		
1 hora	350 µg/m <sup>3</sup> (no podrá superarse más de 24 veces por año civil)	1 de enero de 2005
1 día	125 µg/m <sup>3</sup> (no podrá superarse más de 3 veces por año civil)	1 de enero de 2005
<b>Monóxido de carbono CO</b>		
Media octohoraria diaria máxima	10 mg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2005
<b>Dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub></b>		
1 hora	200 µg/m <sup>3</sup> (no podrá superarse más de 18 veces por año civil)	1 de enero de 2010
Año civil	40 µg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2010
<b>Ozono O<sub>3</sub></b>	<b>Valor objetivo</b>	
Media octohoraria diaria máxima	120 µg/m <sup>3</sup> (no podrán superarse más de 25 días	2010

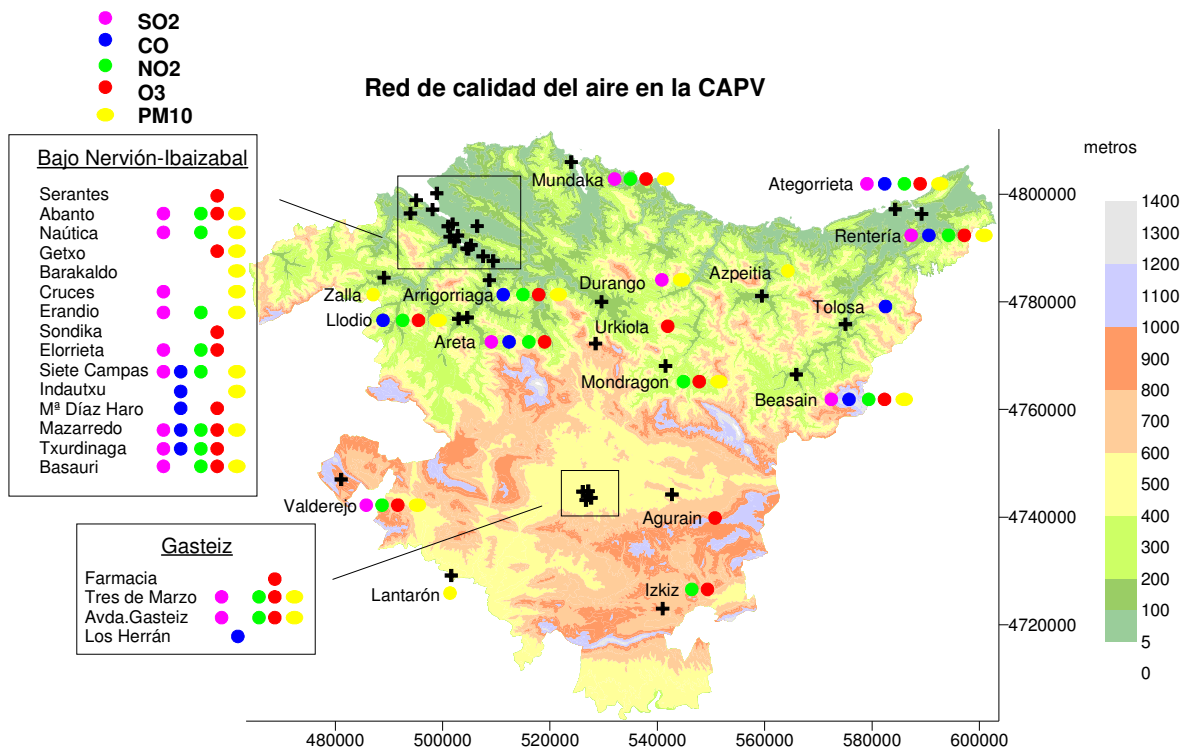
Período	Valor límite	Fecha de entrada en vigor
	por año civil, promediados en un período de tres años)	
	<b>Umbral de información</b>	
1 hora	180 µg/m <sup>3</sup>	
<b>Partículas PM<sub>10</sub></b>		
1 día	50 µg/m <sup>3</sup> (no podrá superarse más de 35 veces por año civil)	1 de enero de 2005
Año civil	40 µg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2005

### Datos utilizados

Se han seleccionado las estaciones que no presentaban huecos importantes y finalmente las estaciones estudiadas para el período 1996-2005 son (Figura 1):

SO<sub>2</sub>: Abanto, Náutica, Cruces, Siete Campas, Mazarredo, Txurdinaga, Basauri, Elorrieta, Erandio, Areta, Durango, Ategorrieta, Rentería, Beasain, Avda. Gasteiz, Tres de Marzo, Valderejo, Mundaka.

CO: Siete Campas, M<sup>a</sup> Díaz, Indautxu, Mazarredo, Txurdinaga, Arrigorriaga, Areta, Llodio, Ategorrieta, Rentería, Tolosa, Beasain, Los Herrán.



**Figura 1.** Estaciones seleccionadas para el análisis de tendencias.

NO<sub>2</sub>: Abanto, Náutica, Siete Campas, Mazarredo, Txurdinaga, Basauri, Elorrieta, Erandio, Arrigorriaga, Areta, Durango, Mondragón, Ategorrieta, Rentería, Beasain, Avda. Gasteiz, Tres de Marzo, Valderejo, Izkiz, Mundaka.

O<sub>3</sub>: Abanto, Serantes, Getxo, Sondika, M<sup>a</sup> Díaz, Mazarredo, Txurdinaga, Basauri, Elorrieta, Arrigorriaga, Areta, Llodio, Mondragón, Ategorrieta, Rentería, Beasain, Avda. Gasteiz, Tres de Marzo, Facultad de Farmacia, Agurain, Valderejo, Izkiz, Mundaka, Urkiola.

PM<sub>10</sub>: Abanto, Náutica, Barakaldo, Cruces, Siete Campas, Indautxu, Mazarredo, Txurdinaga, Basauri, Erandio, Getxo, Arrigorriaga, Llodio, Zalla, Durango, Mondragón, Ategorrieta, Rentería, Beasain, Azpeitia, Avda Gasteiz, Tres de Marzo, Lantarón, Valderejo, Mundaka.

Hay que mencionar que las primeras medidas de  $PM_{10}$  comenzaron en 1999 aunque para tener series más largas se ha utilizado el factor 1,2 como divisor para los datos que se disponen de PST tal y como recomendaba la Directiva 1999/30/CE y tras comprobar, con una campaña de intercomparación de 1 año entre medidas con equipos automáticos de radiación Beta con y sin cabezal  $PM_{10}$  llevada a cabo en varios emplazamientos, que dicho factor es adecuado.

## **Metodología**

Se han seleccionado los siguientes indicadores para el cálculo de tendencias:  $SO_2$  (mediana mensual de los máximos horarios del día), CO (mediana mensual de los máximos octohorarios del día),  $NO_2$  (mediana mensual de los máximos horarios del día),  $O_3$  (mediana mensual de los máximos horarios del día y Percentil 90 mensual de los máximos octohorarios del día) y  $PM_{10}$  (Percentil 90 mensual de las medias diarias). Sólo se han utilizado años completos.

Los modelos de series temporales utilizados son los conocidos como de suavizado exponencial (*Gardner E. S. (1985). Exponential smoothing: the state of the art. Journal of Forecasting, 4, 1-28*), que son muy útiles para ajustar y predecir series temporales que presentan una tendencia y/o una estacionalidad. Son modelos que no se basan en el conocimiento teórico de los datos y entre ellos se encuentran los siguientes:

- Simple. Este modelo es adecuado para las series en las que no existe tendencia o estacionalidad. Su único parámetro de suavizado es el nivel. El suavizado exponencial simple es el más similar a un modelo ARIMA con cero órdenes de autoregresión, un orden de diferenciación, un orden de media móvil y sin constante.
- De Holt con tendencia lineal. Este modelo es adecuado para las series en las que existe tendencia lineal y no existe estacionalidad. Sus parámetros

de suavizado son el nivel y la tendencia, y los valores de los mismos no se encuentran restringidos mutuamente. El modelo de suavizado exponencial de Holt es muy similar a un modelo ARIMA con cero órdenes de autoregresión, dos órdenes de diferenciación y dos órdenes de media móvil

- Simple estacional. Este modelo es adecuado para series con tendencia y un efecto estacional que es constante a lo largo del tiempo. Sus parámetros de suavizado son el nivel y la estación. El modelo de suavizado exponencial simple estacional es muy similar a un modelo ARIMA con cero órdenes de autoregresión, un orden de diferenciación, un orden de diferenciación estacional y órdenes de media móvil 1,  $p$  y  $p + 1$ , donde  $p$  es el número de períodos contenidos en un intervalo estacional (para los datos mensuales,  $p = 12$ ).
- De Winters aditivo. Este modelo es adecuado para las series con tendencia lineal y un efecto estacional que no depende del nivel de la serie. Sus parámetros de suavizado son el nivel, la tendencia y la estación. El modelo de suavizado exponencial aditivo de Winters es muy similar a un modelo ARIMA con cero órdenes de autoregresión, un orden de diferenciación, un orden de diferenciación estacional y  $p + 1$  órdenes de media móvil, donde  $p$  es el número de períodos contenidos en un intervalo estacional (para datos mensuales  $p = 12$ ).
- De Winters multiplicativo. Este modelo es adecuado para las series con una tendencia lineal y un efecto estacional que depende del nivel de la serie. Sus parámetros de suavizado son el nivel, la tendencia y la estación. El modelo de suavizado exponencial multiplicativo de Winters no es similar a ningún modelo ARIMA.

Presentamos como ejemplo el ajuste efectuado a la serie histórica de Náutica de  $\text{SO}_2$  para los años desde 1994 hasta 2005 (con la predicción para el año 2006).



**NAUTICA SO<sub>2</sub>. Años 1994-2005 Modelo Aditivo de Winters**

Estado de suavizado inicial

Índices estacionales	1	3,62881
	2	6,53032
	3	6,92275
	4	2,37881
	5	-,62119
	6	-2,15377
	7	-5,78987
	8	-9,15150
	9	-1,17868
	10	-2,60254
	11	1,41564
	12	,62123
Nivel		39,55871
Tendencia		-,14867

Parámetros del suavizado

Serie	Alpha (Nivel)	Gamma (Tendencia)	Delta (Estación)	Sumas de los errores cuadráticos	gl error
nautso2_mediana	,30000	,00000	,00000	6423,33818	131

Los parámetros:  $\alpha$ ,  $\gamma$  y  $\delta$  controlan el peso relativo dado a las observaciones más recientes a la hora de estimar el nivel, la tendencia y la estacionalidad respectivamente.

$$\hat{X}_t = S_t + T_t + I_{t-p+1}$$

$$S_t = S_{t-1} + T_{t-1} + \alpha e_t$$

$$T_t = T_{t-1} + \alpha \gamma e_t$$

$$I_t = I_{t-p} + \delta(1-\alpha)e_t$$

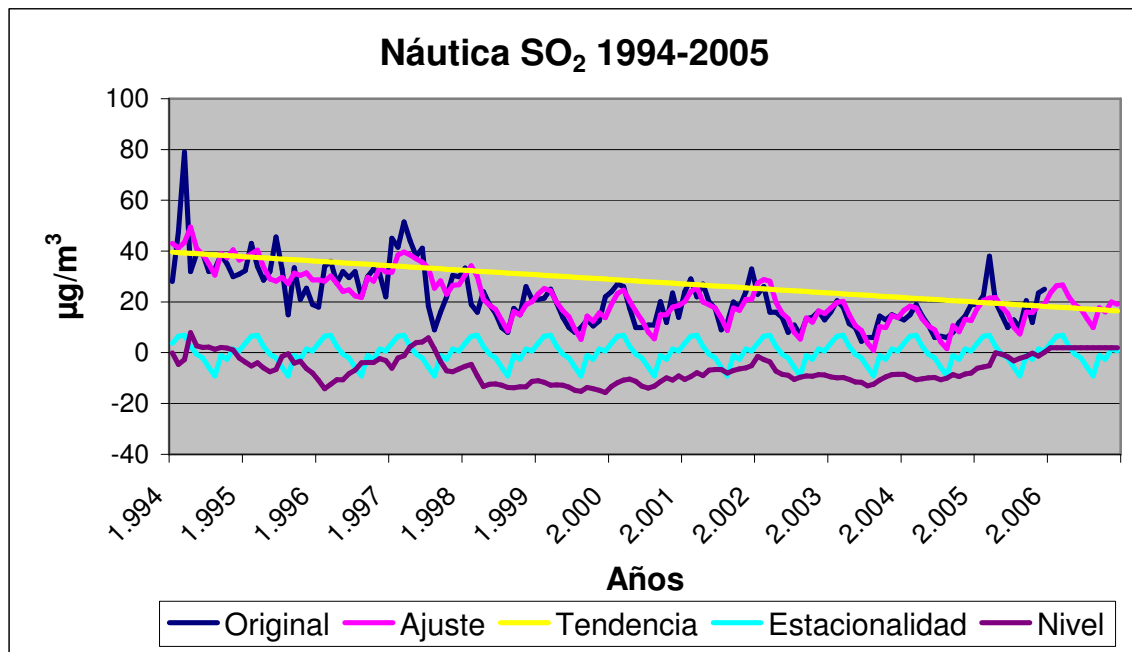


Figura 2. Descomposición de la serie original en las tres componentes.

El buen comportamiento del modelo se puede comprobar con el cálculo de la Función de Autocorrelación de la serie de los errores que en este caso (Figura 3) nos indica que puede considerarse como ruido blanco ya que no presenta ningún valor significativo.

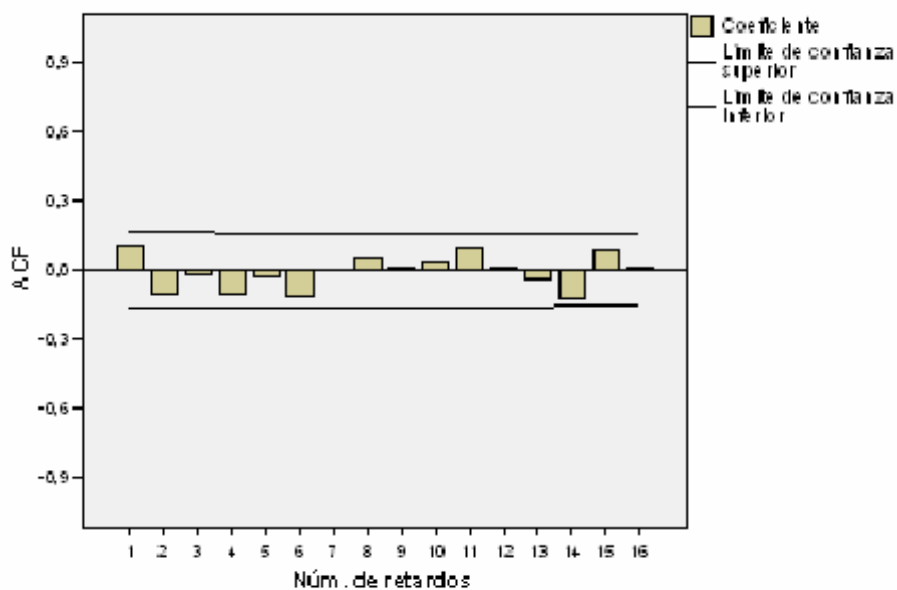


Figura 3. Función de autocorrelación de los errores.

En el caso del O<sub>3</sub> y de PM<sub>10</sub> se han tratado los ajustes de las series a las variaciones de los parámetros meteorológicos relacionados mediante la técnica de la regresión lineal múltiple paso a paso.

Se han utilizado estadísticas mensuales de variables meteorológicas medidas en las 3 capitales de la Euskadi y facilitadas por el Servicio Territorial del Instituto Nacional de Meteorología. Las variables utilizadas son:

TM\_MAX: Media mensual de la temperatura máxima diaria (grado centígrado)

TM\_MIN: Media mensual de la temperatura mínima diaria (grado centígrado)

TM\_MES: Temperatura media mensual (grado centígrado)

R\_MAX\_VEL: Velocidad de la racha máxima mensual (Km/h)

REC77\_MES: Recorrido total mensual del viento de 07 a 07 (Km)

PMES77: Precipitación total mensual (mm)

DP10: Días de precipitación >=10 décimas (número de días)

SOL\_MES: Insolación total mensual (horas)

SOL\_MED: Insolación media diaria (horas)

PTJESOL\_MED: Porcentaje medio de insolación diaria (% total teórico)

Además se ha creado la variable DELTAT= TM\_MAX – TM\_MIN

Por ejemplo el modelo de regresión calculado para la serie de los promedios octohorarios de Basauri (Figura 4) es el siguiente:

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
2	,725(b)	,525	,520	15,264

b Variables predictoras: (Constante), vitoSOL\_MES, sondDP10

#### ANOVA

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
2	Regresión	48760,729	2	24380,365	104,643	,000(b)
	Residual	44034,217	189	232,985		
	Total	92794,947	191			

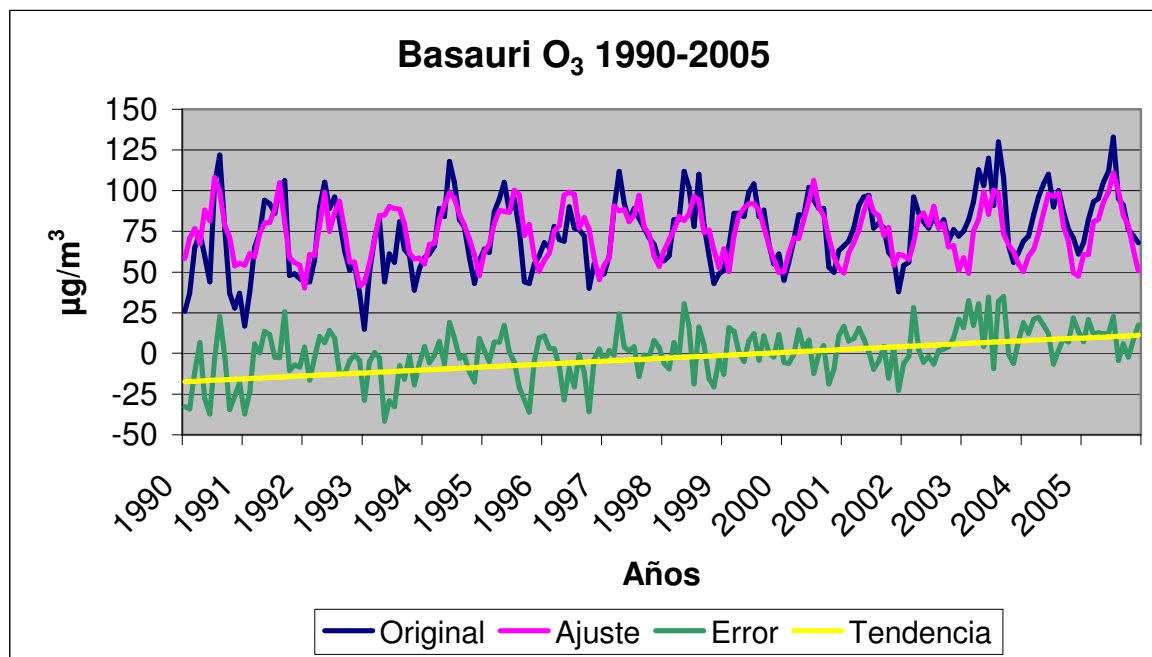
b Variables predictoras: (Constante), vitoSOL\_MES, sondDP10

**Coefficientes**

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
2 (Constante)	16,764	6,089		2,753	,006
vitoSOL_MES	,286	,021	,826	13,409	,000
sondDP10	1,092	,324	,208	3,375	,001

**Estadísticos sobre los residuos**

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típ.	N
Valor pronosticado	40,19	110,76	74,27	15,978	192
Residuo bruto	-41,480	34,940	,000	15,184	192
Valor pronosticado tip.	-2,133	2,283	,000	1,000	192
Residuo tip.	-2,718	2,289	,000	,995	192



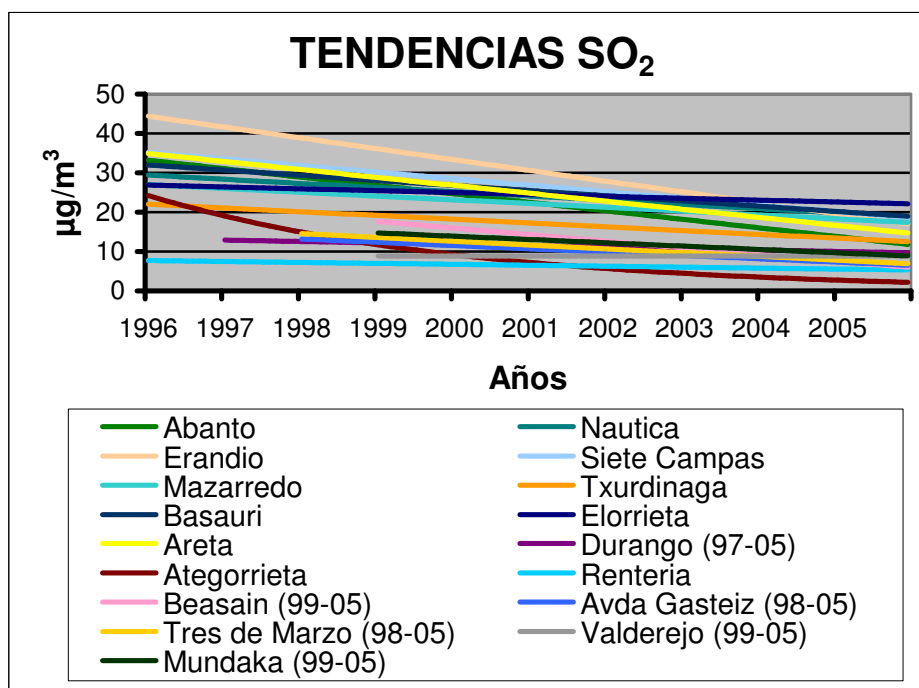
**Figura 4.** Series resultantes del modelo de regresión.

Los resultados indican que eliminar de las series las variaciones debidas a los factores meteorológicos influyentes apenas afecta a la tendencia, aunque pueden ajustarse mejor las variaciones de períodos cortos.

## Resultados

Los resultados obtenidos para las tendencias se presentan en los gráficos siguientes donde sólo se han incluido aquellas estaciones seleccionadas que disponen de datos el último año 2005.

En el caso del SO<sub>2</sub> los valores más altos se detectan en la cuenca del Nervión e históricamente en su desembocadura. En general los niveles descienden (Figura 5).



**Figura 5.** Tendencias calculadas para SO<sub>2</sub>.

En el caso del CO la tendencia a la baja está muy clara (Figura 6).

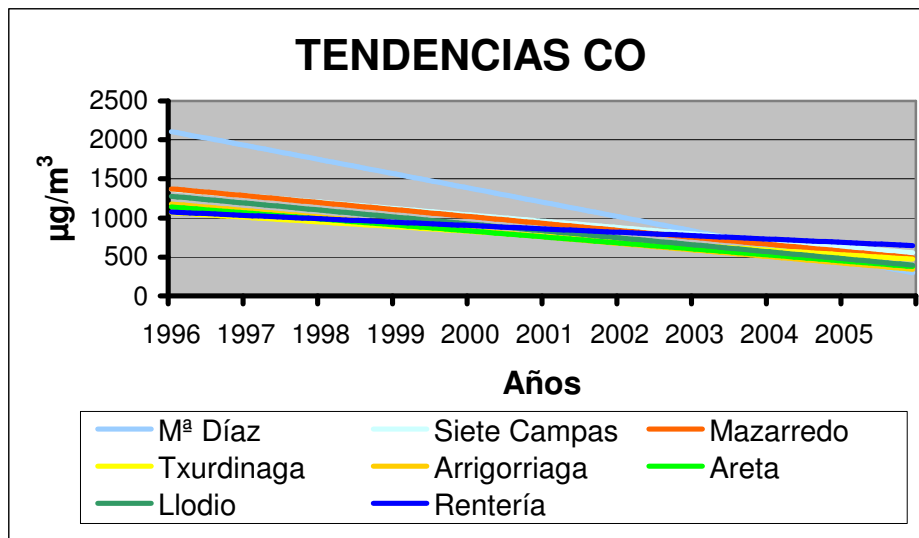


Figura 6. Tendencias calculadas para CO.

No se observan tendencias claras en el caso del NO<sub>2</sub>, en algunas estaciones se detectan pequeñas tendencias hacia arriba y en otras hacia abajo (Figura 7).

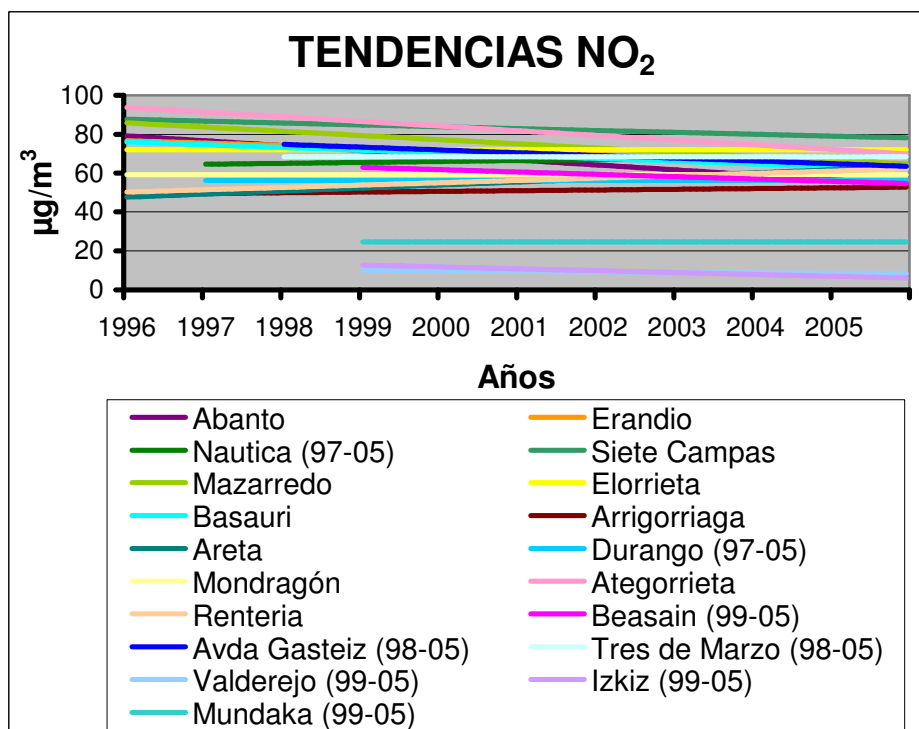


Figura 7. Tendencias calculadas para NO<sub>2</sub>.

Tampoco en el caso de O<sub>3</sub> se observa una tendencia clara aunque por lo general se tiene una ligera tendencia hacia valores mayores (Figura 8).

En partículas PM<sub>10</sub> parece destacar una pequeña tendencia a la baja (Figura 9).

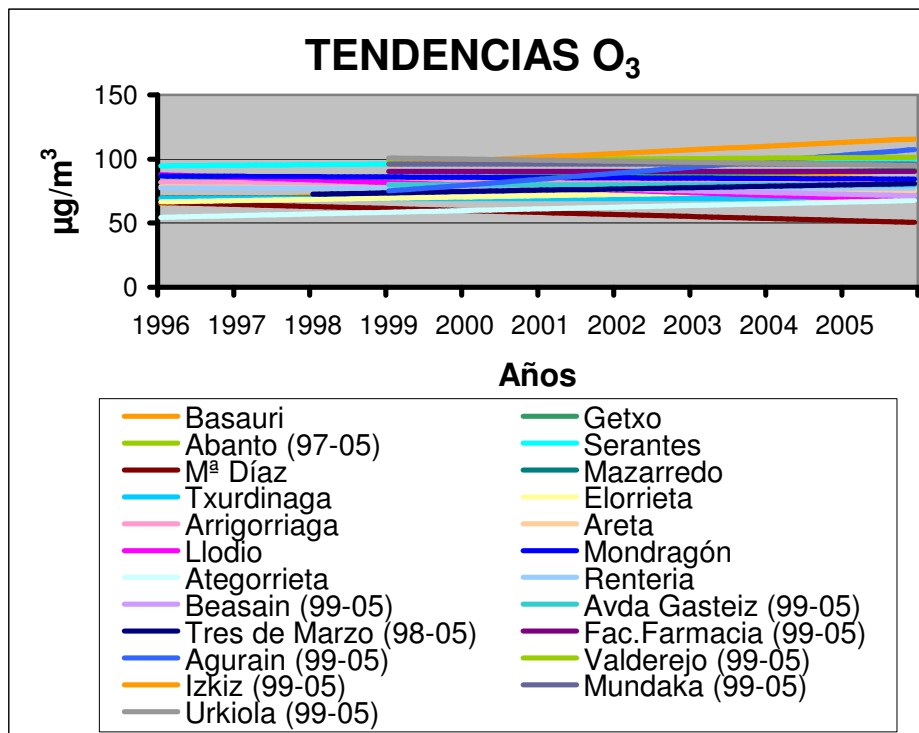
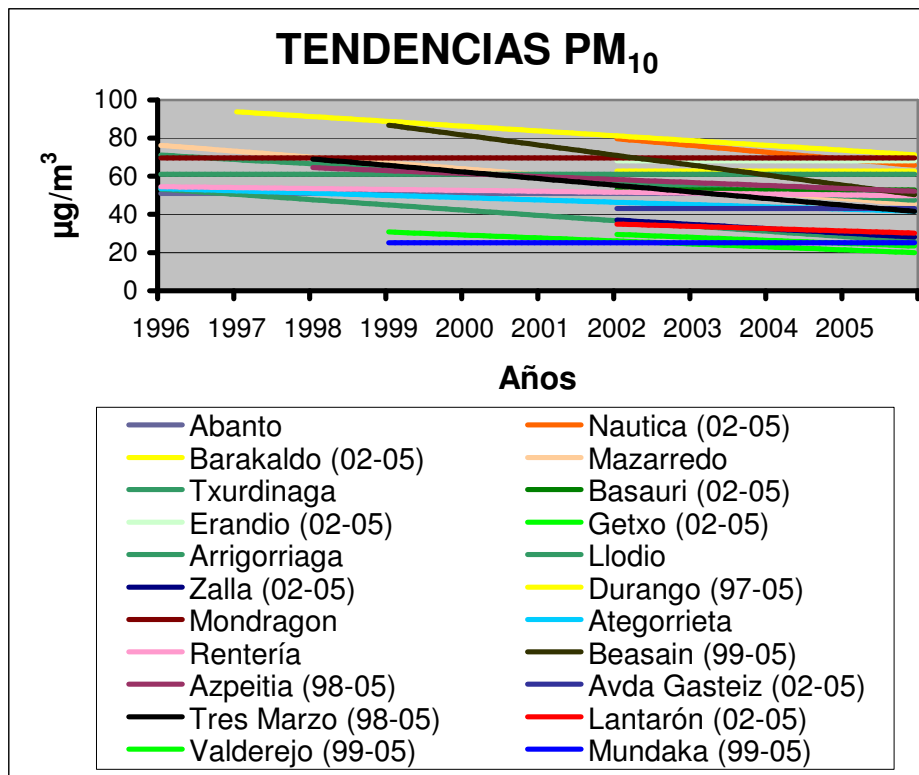


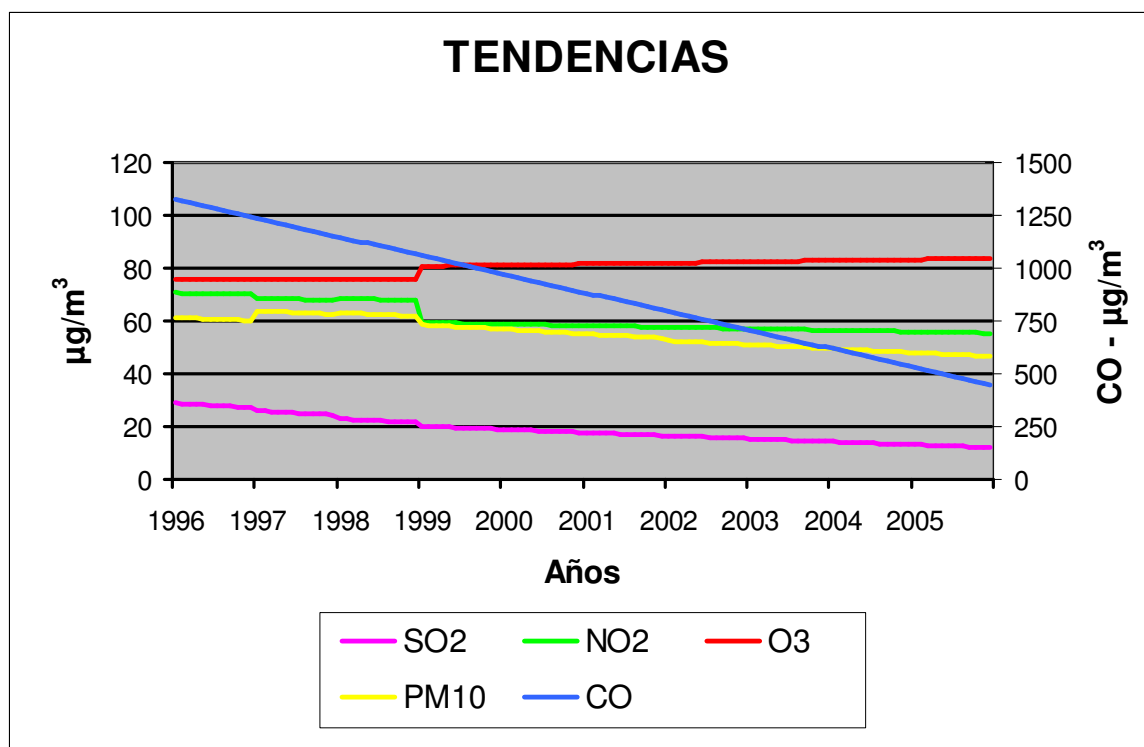
Figura 8. Tendencias calculadas para O<sub>3</sub>.



**Figura 9.** Tendencias calculadas para PM<sub>10</sub>.

En resumen si efectuamos un promedio para las series representadas obtenemos el siguiente resultado (Figura 10). Las discontinuidades en la linealidad son debidas a la incorporación de algunas estaciones en años posteriores a 1996, al promedio efectuado.





**Figura 10.** Tendencias promedio calculadas.

Para los indicadores seleccionados, los descensos de SO<sub>2</sub> se estiman alrededor del 58% en los últimos 10 años (del orden del 8% si tomamos de la tendencia calculada para los 10 años sólo el último, año 2005), para el CO se estima un descenso global de un 66% (16% el último año), la serie promedio de partículas PM<sub>10</sub> registra un descenso del 24% (3% el último año), el NO<sub>2</sub> disminuye un 22% (sin embargo apenas disminuye un 1% el último año), situándose el O<sub>3</sub> como único contaminante que aumenta del orden de un 10% (un 0,5% el último año).

Los resultados obtenidos son consistentes con lo esperado y los modelos se ajustan bien. Todo ello indica que la metodología es adecuada para llevar a cabo análisis de tendencias de series temporales de medidas de inmisión.