

# MODELOS DE CLASIFICACIÓN ESTADÍSTICA BASADOS EN INDICADORES DE SO<sub>2</sub> Y NO<sub>x</sub> EN LA U.P.T. DE AS PONTES

**Proyecto Fin de Máster**

**Máster en Técnicas Estadísticas**

Francisco Manuel Prieto Magdalena



# ÍNDICE

- **LA U.P.T. DE AS PONTES**
  - Historia
  - Marco legislativo de referencia
  - Sistemas de control
- **MODELOS DE CLASIFICACIÓN**
  - Descripción del problema
  - Modelo inicial
  - Nuevos modelos propuestos
- **APLICACIÓN A DATOS REALES**
- **OTROS MODELOS EN ESTUDIO**
- **REFERENCIAS**



# LA U.P.T. DE AS PONTES



# LA U.P.T. DE AS PONTES



## Historia

- Descubrimiento de la Mina de carbón en As Pontes.
- En 1976 inicia su actividad la Central Térmica, utilizando exclusivamente carbón procedente de la mina local.
- Entre 1993 y 1996 se realiza una primera transformación de los grupos para utilizar una mezcla de carbón local y de importación.
- Entre 2005 y 2008 se realiza una segunda transformación de los grupos para utilizar únicamente carbón de importación.
- En 2008 inicia su actividad el Ciclo Combinado.

- En la actualidad...

... la Mina está cerrada y en proceso de regeneración con el objetivo de formar un impresionante lago artificial.

... la Central Térmica, completamente transformada, funciona a pleno rendimiento utilizando única y exclusivamente carbón de importación.

... el Ciclo Combinado, superadas las fases de prueba y puesta a punto, se encuentra ya oficialmente en producción.

# LA U.P.T. DE AS PONTES



Situación de la Mina, la Central Térmica y el Ciclo Combinado

 **LA U.P.T. DE AS PONTES**

 **Marco legislativo de referencia**

- Real Decreto 1073/2002, de 18 de octubre, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y el monóxido de carbono.

Que adapta a la legislación nacional los contenidos de las siguientes directivas europeas:

- Directiva 1999/30/CE del Consejo, 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.
- Directiva 2000/69/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de noviembre de 2000, sobre los valores límite para el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente.

- Real Decreto 430/2004, de 12 de marzo, por el que se establecen nuevas normas sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión, y se fijan ciertas condiciones para el control de las emisiones a la atmósfera de las refinerías de petróleo.

Que adapta a la legislación nacional los contenidos de la siguiente directiva europea:

- Directiva 2001/80/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión.

### Valores límite del SO<sub>2</sub>

PROTECCIÓN SALUD HUMANA		PROTECCIÓN ECOSISTEMAS
VALOR LÍMITE HORARIO (VLH)	VALOR LÍMITE DIARIO (VLD)	VALOR LÍMITE ANUAL (VLA)
<b>350</b> µg/m <sup>3</sup> No debe superarse más de 24 veces/año	<b>125</b> µg/m <sup>3</sup> No debe superarse más de 3 veces/año	<b>20</b> µg/m <sup>3</sup> (año civil e invierno)

### Valores límite del NO<sub>2</sub>

PROTECCIÓN SALUD HUMANA	
VALOR LÍMITE HORARIO (VLH)	VALOR LÍMITE ANUAL (VLA)
<b>200</b> µg/m <sup>3</sup> No debe superarse más de 24 veces/año	<b>40</b> µg/m <sup>3</sup>

 **LA U.P.T. DE AS PONTES**

 **Sistemas de control**

La U.P.T. de As Pontes cuenta con un **Sistema de Control Suplementario de la Contaminación Atmosférica** compuesto por los siguientes elementos:

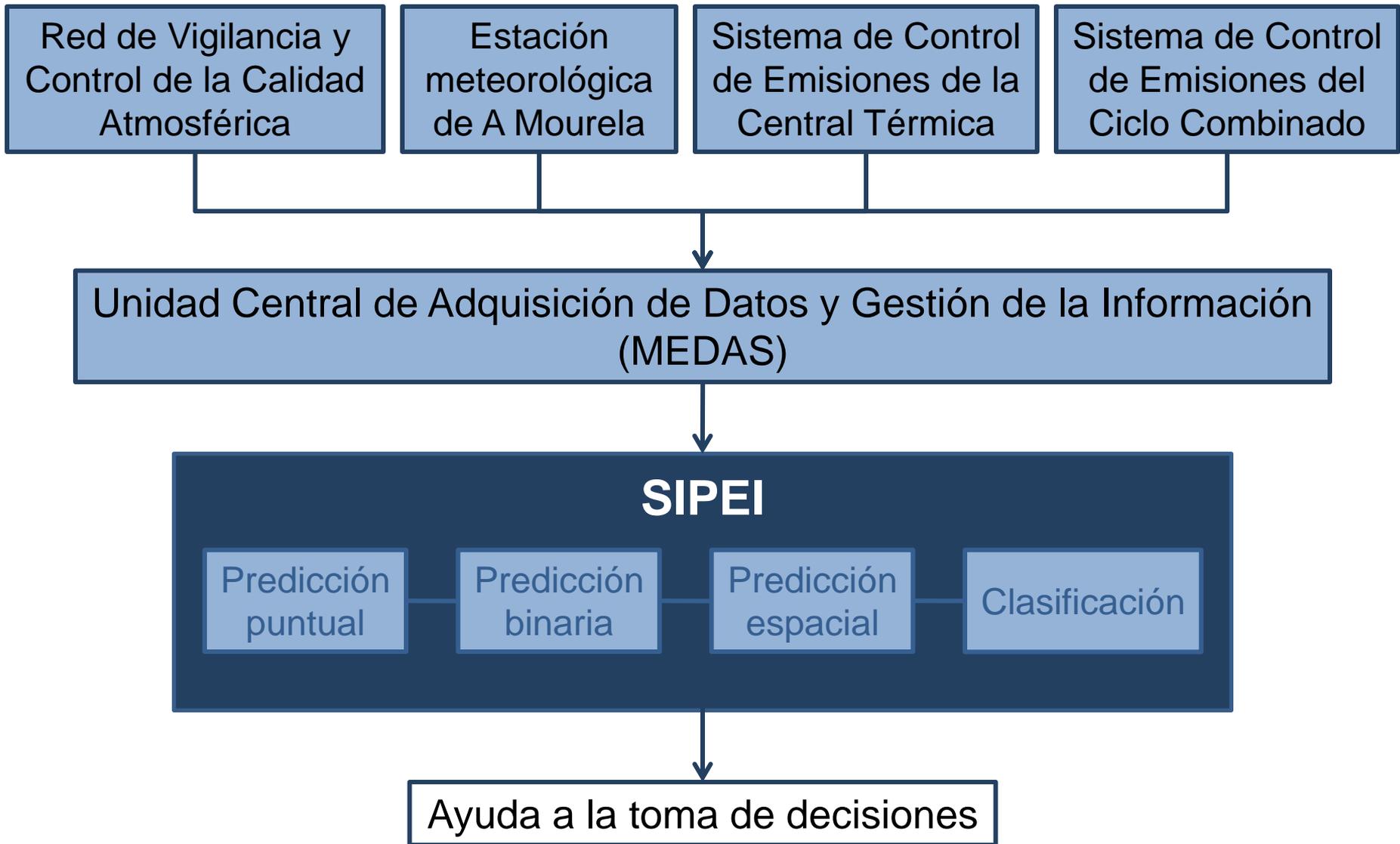
- **Red de Vigilancia y Control de la Calidad Atmosférica.**

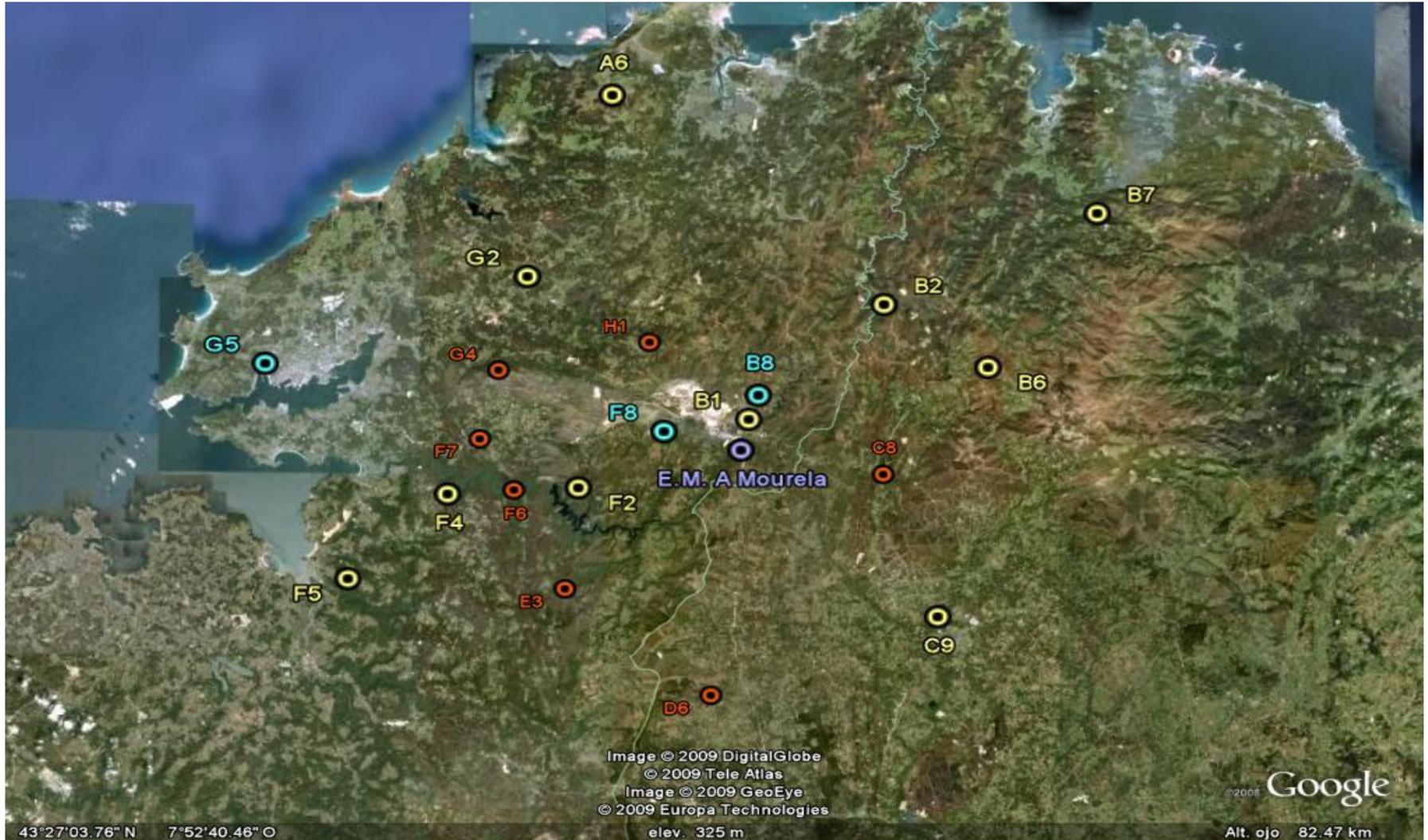
Es una red de 13 estaciones de medida automáticas, convenientemente situadas, que transmiten en continuo medidas de la evolución de la calidad del aire.

- **Estación Meteorológica de A Mourela.**

- **Sistema de Control de Emisiones de la Central Térmica.**

- **Sistema de Control de Emisiones del Ciclo Combinado.**







# **MODELOS DE CLASIFICACIÓN**

# ■ ■ ■ **MODELOS DE CLASIFICACIÓN**

■ ■ ■ **Descripción del problema**

## Problema

Clasificar el origen de un episodio de alteración de la calidad del aire.

## Premisas

- El único posible foco de emisión existente en la U.P.T. de As Pontes es la Central Térmica.
- Desarrollar un modelo sencillo que, en caso de producirse un episodio, permitiese calcular la probabilidad de que éste fuese debido a emisiones procedentes de la central.
- Integrado en el sistema de predicción estadística SIPEI.
- Limitado únicamente a clasificar el origen de los posibles episodios de  $\text{SO}_2$  y de  $\text{NO}_x$ .

## Análisis

- Los resultados obtenidos serían difícilmente contrastables.
- No era posible utilizar en el modelo variables meteorológicas (como la dirección o velocidad del viento).
- Había que aprovechar al máximo la relación existente entre los niveles de emisión de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  (ratios).
- Había que considerar otros posibles focos de emisión.
  - Para  $\text{SO}_2$ : ninguno.
  - Para  $\text{NO}_x$ : tráfico de vehículos a motor, actividades agropecuarias, otras industrias presentes en la zona, ...
- Había que aprovechar los datos históricos.
- Se debían considerar las limitaciones y restricciones del sistema.

# ■ ■ ■ **MODELOS DE CLASIFICACIÓN**

■ ■ ■ **Modelo inicial**

## Modelo inicial de ratios

- Se consideran  $s$  y  $n$ , niveles (media horaria) de inmisión de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  en una estación  $e$  en un instante  $t$ .
- Se consideran  $\mathbf{S}_{CT} = (S_{CT,1}, \dots, S_{CT,T})$  y  $\mathbf{N}_{CT} = (N_{CT,1}, \dots, N_{CT,T})$ , niveles de emisión de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  de la Central Térmica en  $T$  instantes de tiempo anteriores a  $t$ , tomados a partir de un instante  $t_0$  inicial convenientemente seleccionado.
- Se obtiene  $\mathbf{n}_F^* = (n_{F,1}^*, \dots, n_{F,K}^*)$ , muestra artificial del  $\text{NO}_x$  de fondo en la estación  $e$ , obtenida de simular  $K$  valores de una distribución Normal  $N(\tilde{n}_F, \sigma_F)$ , donde  $\tilde{n}_F$  y  $\sigma_F$  son, respectivamente, la mediana y la desviación típica correspondientes al conjunto de datos históricos del  $\text{NO}_x$  de fondo en esa estación.  
Si alguno de los valores de  $\mathbf{n}_F^*$  es inferior a  $n_{min}$ , valor mínimo prefijado, se cambia y se pone éste.

- Se calcula  $n_{-F}^* = n - n_F^*$ , muestra artificial del  $\text{NO}_x$  sin el de fondo.  
Si alguno de los valores de  $n_{-F}^*$  es inferior a  $n_{min}$ , valor mínimo prefijado, se cambia y se pone éste.
- Se calculan los ratios de inmisión sin el  $\text{NO}_x$  de fondo  $r_{-F}^*$  y de emisión de la Central Térmica  $R_{CT}$ , donde

$$r_{-F}^* = r_{-F}^{S*} = \frac{s}{n_{-F}^*} \quad \text{y} \quad R_{CT} = R_{CT}^S = \frac{S_{CT}}{N_{CT}}$$

si se trata de una alarma de  $\text{SO}_2$ , o

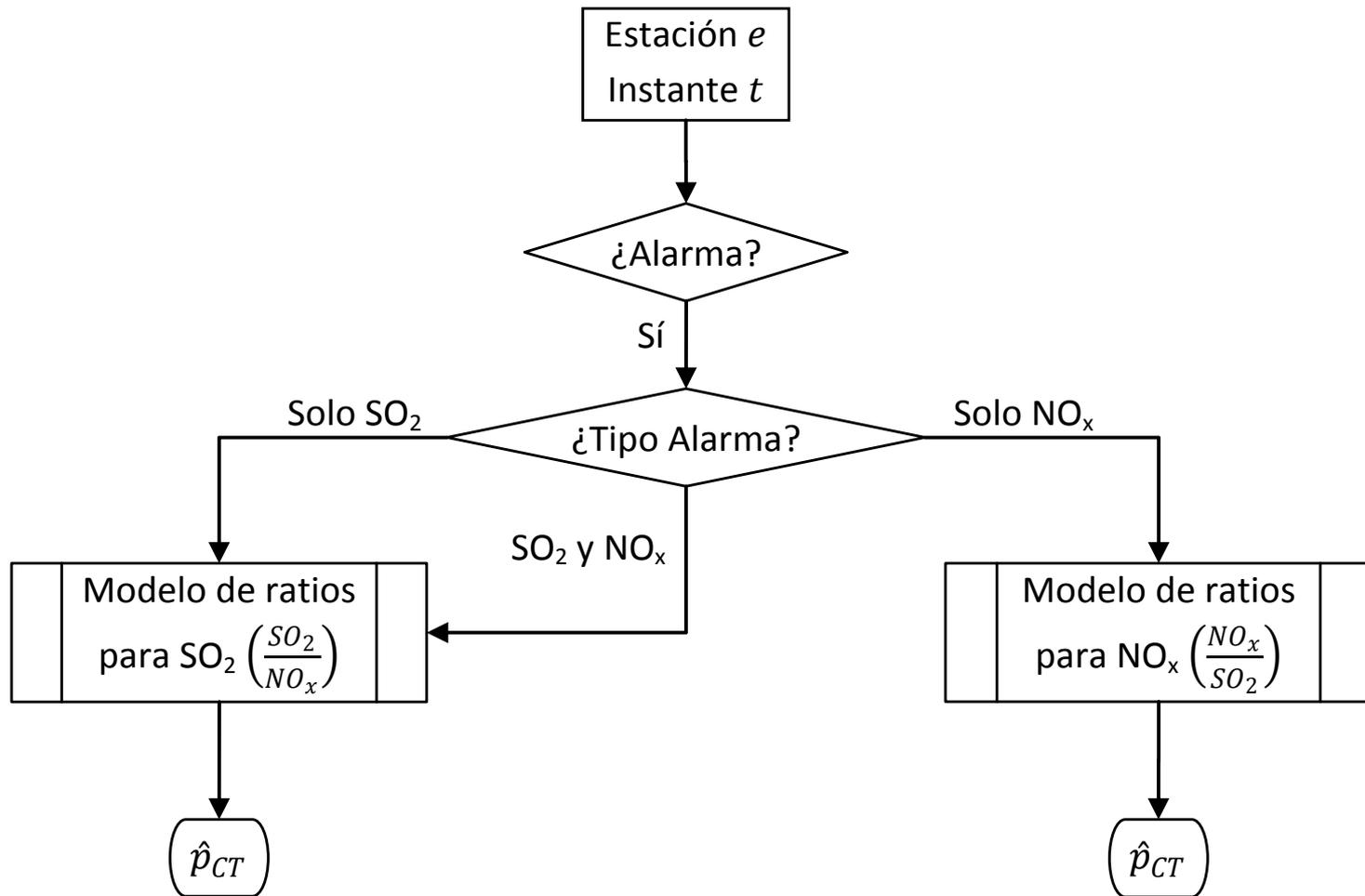
$$r_{-F}^* = r_{-F}^{n*} = \frac{n_{-F}^*}{s} \quad \text{y} \quad R_{CT} = R_{CT}^N = \frac{N_{CT}}{S_{CT}}$$

si se trata de una alarma de  $\text{NO}_x$ .

- Se estiman de manera no paramétrica  $\hat{f}_{-F}$  y  $\hat{f}_{CT}$ , densidades de los ratios calculados  $\mathbf{r}_{-F}^*$  y  $\mathbf{R}_{CT}$ , respectivamente y según el caso.
- Se asigna la probabilidad de que el origen esté en la Central Térmica a partir de la comparación de las densidades estimadas

$$\hat{p}_{CT} = \underset{p \in A}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^I \left( \hat{f}_{-F}(x_i) - p \hat{f}_{CT}(x_i) \right)^2$$

donde  $I$  es el número de puntos estimados para las densidades y  $A = \left\{ \frac{j}{J} : j = 0, \dots, J \right\}$ , con  $J$  suficientemente grande.



# ■ ■ ■ **MODELOS DE CLASIFICACIÓN**

■ ■ ■ **Nuevos modelos propuestos**

## Justificación

- Transformación de la Central Térmica.
- Construcción del Ciclo Combinado.
- Redefinición de la Red de Vigilancia.

## Análisis

- Diferencias en los niveles de emisión de las centrales.
- Diferencias en las condiciones de emisión de las centrales, especialmente en la altura de las chimeneas.
- El  $\text{SO}_2$  pierde interés en favor del  $\text{NO}_x$ .
- El modelo inicial no se puede aplicar al Ciclo Combinado.
- Es posible utilizar en el modelo variables meteorológicas (como la dirección o velocidad del viento).

## Consideraciones

- Desarrollar un modelo lo más flexible posible.
- Utilizar el estudio de datos direccionales.
- Utilizar los resultados de modelos de difusión.

Bajo estas premisas se diseñó una estructura modular compuesta por cuatro modelos, cada uno dotado de identidad propia y orientado a resolver un problema concreto.

- Modelo de históricos
- Modelo de ratios
- Modelo de viento
- Modelo mixto

## Modelo de históricos

- Se considera  $n_F^h$ , datos históricos del  $\text{NO}_x$  de fondo en una estación  $e$ .
- Se considera  $n_{min}$ , valor mínimo prefijado.
- Se calcula  $\rho$ , proporción de datos de  $n_F^h$  cuyo valor es  $n_{min}$ .
- Se considera una mixtura de la forma

$$X = \rho X_1 + (1 - \rho) X_2$$

donde  $X_1$  es una variable que sigue una distribución  $\delta_{n_{min}}$  concentrada en  $n_{min}$  y  $X_2$  es una variable truncada por la izquierda en  $n_{min}$  y cuya densidad se estima de manera no paramétrica a partir de los datos de  $n_F^h$  cuyo valor esté por encima de  $n_{min}$ .

- Se simulan  $K$  valores de la variable  $X$ , donde para la parte de la simulación que afecta a la variable  $X_2$  los valores se obtienen aplicando el método Bootstrap suavizado con el parámetro ventana obtenido en la estimación de su densidad.
- Se obtiene la muestra  $\mathbf{n}_F^* = (n_{F,1}^*, \dots, n_{F,K}^*)$ .

## Modelo de ratios

- Se consideran  $s$  y  $n$ , niveles (media horaria) de inmisión de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  en una estación  $e$  en un instante  $t$ .
- Se consideran  $S_{CT}$  y  $N_{CT}$ , niveles de emisión de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  de la Central Térmica en  $T$  instantes de tiempo anteriores a  $t$ , tomados a partir de un instante  $t_0$  inicial convenientemente seleccionado.
- Se considera  $n_F^*$ , muestra artificial del  $\text{NO}_x$  de fondo en la estación  $e$ .  
Si alguno de los valores de  $n_F^*$  es inferior a  $n_{min}$ , valor mínimo prefijado, se cambia y se pone éste.
- Se considera  $n_{CC}^*$ , muestra artificial del  $\text{NO}_x$  correspondiente al Ciclo Combinado en la estación  $e$ .  
Si alguno de los valores de  $n_{CC}^*$ , es inferior a cero, se cambia y se pone éste.

# MODELOS DE CLASIFICACIÓN

- Se calcula  $n_{-F-CC}^* = n - n_F^* - n_{CC}^*$ , muestra artificial del  $\text{NO}_x$  sin el de fondo ni del Ciclo Combinado.

Si alguno de los valores de  $n_{-F-CC}^*$  es inferior a  $n_{min}$ , valor mínimo prefijado, se cambia y se pone éste.

- Se calculan los ratios de inmisión sin el  $\text{NO}_x$  de fondo ni del Ciclo Combinado  $r_{-F-CC}^*$  y de emisión de la Central Térmica  $R_{CT}$ , donde

$$r_{-F-CC}^* = r_{-F-CC}^{S*} = \frac{s}{n_{-F-CC}^*} \quad \text{y} \quad R_{CT} = R_{CT}^S = \frac{S_{CT}}{N_{CT}}$$

en el caso del  $\text{SO}_2$ , o

$$r_{-F-CC}^* = r_{-F-CC}^{n*} = \frac{n_{-F-CC}^*}{s} \quad \text{y} \quad R_{CT} = R_{CT}^N = \frac{N_{CT}}{S_{CT}}$$

en el caso del  $\text{NO}_x$ .

- Se estiman de manera no paramétrica  $\hat{f}_{-F-CC}$  y  $\hat{f}_{CT}$ , densidades de los ratios calculados  $\mathbf{r}_{-F-CC}^*$  y  $\mathbf{R}_{CT}$ , respectivamente y según el caso.
- Se asigna la probabilidad de que el origen esté en la Central Térmica a partir de la comparación de las densidades estimadas

$$\hat{p}_{CT} = \underset{p \in A}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^I \left( \hat{f}_{-F-CC}(x_i) - p \hat{f}_{CT}(x_i) \right)^2$$

donde  $I$  es el número de puntos estimados para las densidades y  $A = \left\{ \frac{j}{J} : j = 0, \dots, J \right\}$ , con  $J$  suficientemente grande.

## Modelo de viento

- Se considera  $d_e$ , distancia de la estación  $e$  al Ciclo Combinado.
- Se considera  $D_e$ , dirección (ángulo respecto al Norte) de la recta que une el Ciclo Combinado con la estación  $e$ .
- Se consideran  $\mathbf{D}_V = (D_{V,1}, \dots, D_{V,T})$  y  $\mathbf{V}_V = (V_{V,1}, \dots, V_{V,T})$ , dirección (ángulo respecto al Norte) y velocidad del viento en el Ciclo Combinado en  $T$  instantes de tiempo anteriores a  $t$ , tomados a partir de un instante  $t_1$  inicial convenientemente seleccionado.
- Se obtiene  $\mathbf{PV}_V = (PV_{V,1}, \dots, PV_{V,T})$ , proyecciones de las  $T$  velocidades de  $\mathbf{V}_V$  sobre la dirección fijada por  $D_e$  como

$$PV_{V,i} = V_{V,i} \cos(D_{V,i} - D_e)$$

- Se obtiene el conjunto de instantes en que existe una posible incidencia del viento sobre la estación  $e$ . Es decir, se obtienen aquellos índices  $i \in I = \{1, \dots, T\}$  en que

$$PV_{V,i} > 0 \quad \text{ó} \quad V_{V,i} = 0$$

Sea  $I_e = \{i \in I: PV_{V,i} > 0 \text{ ó } V_{V,i} = 0\}$ .

- Para cada  $i \in I_e$  se genera una distribución Ji-Cuadrado  $\chi_{m_i}^2$  sobre la dirección  $D_e$ , siendo los grados de libertad

$$m_i = c_1 \ln \left( \exp \left\{ c_2 / c_1 \right\} + PV_{V,i} \right)$$

con  $c_1$  y  $c_2$  constantes convenientemente seleccionadas.

- Para cada  $i \in I_e$  se simulan  $K$  valores de una distribución  $\chi_{m_i}^2$ , obteniéndose las muestras  $\mathbf{n}_i^* = (n_{i,1}^*, \dots, n_{i,K}^*)$ .
- Para cada  $i \in I \setminus I_e$  se toman muestras de  $K$  valores nulos,  $\mathbf{n}_i^* = (0, \dots, 0)$ .
- Se considera  $\mathbf{n}_e^* = (n_{i,k}^*)_{i \in I; k \in K}$ , muestra conjunta.
- Se calcula  $\hat{\alpha}$  evaluando la distribución empírica  $F_n$  de la muestra  $\mathbf{n}_e^*$  en el punto especificado por la distancia  $d_e$

$$\hat{\alpha} = F_n(d_e)$$

- Se calcula  $\hat{p}_V$ , probabilidad de incidencia en la estación  $e$ , como

$$\hat{p}_V = 1 - |2\hat{\alpha} - 1|$$

## Modelo mixto

### Etapa 1

- Se consideran  $s$  y  $n$ , niveles (media horaria) de inmisión de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  en una estación  $e$  en un instante  $t$ .
- Se consideran  $S_{CT}$  y  $N_{CT}$ , niveles de emisión de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  de la Central Térmica en  $T$  instantes de tiempo anteriores a  $t$ , tomados a partir de un instante  $t_0$  inicial convenientemente seleccionado.
- Se considera  $n_F^*$ , muestra artificial del  $\text{NO}_x$  de fondo en la estación  $e$ .  
Si alguno de los valores de  $n_F^*$  es inferior a  $n_{min}$ , valor mínimo prefijado, se cambia y se pone éste.

- Se considera una descomposición del  $\text{NO}_x$  en la estación  $e$  del tipo

$$n = n_F + n_{CT} + n_{CC} + n_{OF}$$

donde  $n_F$ ,  $n_{CT}$ ,  $n_{CC}$  y  $n_{OF}$  representan el  $\text{NO}_x$  de fondo y el atribuible a la Central Térmica, al Ciclo Combinado y a otros posibles focos, respectivamente.

- Bajo las hipótesis de que los ratios de emisión e inmisión correspondientes a la Central Térmica coinciden y de que el nivel de  $\text{SO}_2$  en inmisión es debido exclusivamente a ésta, es decir  $s = s_{CT}$ , se podrían plantear una serie de equivalencias del tipo

$$\frac{S_{CT}}{N_{CT}} = R_{CT}^S = r_{CT}^S = \frac{S_{CT}}{n_{CT}} = \frac{s}{n_{CT}}$$

Se obtiene así una muestra artificial del  $\text{NO}_x$  correspondiente a la Central Térmica

$$n_{CT}^* = \frac{s}{R_{CT}^S}$$

- Con las muestras artificiales del  $\text{NO}_x$  de fondo y de la Central Térmica se obtiene una conjunta del Ciclo Combinado y otros posibles focos

$$n_{CC+OF}^* = n_{-F-CT}^* = n - n_F^* - n_{CT}^*$$

Si alguno de los valores de  $n_{CC+OF}^*$ , es inferior a cero, se cambia y se pone éste.

## Etapa 2

- Se considera  $n$ , nivel (media horaria) de inmisión de  $\text{NO}_x$  en la estación  $e$  en el instante  $t$ .
- Se considera  $n_{CT}^*$ , muestra artificial del  $\text{NO}_x$  correspondiente a la Central Térmica.
- Se considera  $n_{CC+OF}^*$ , muestra del  $\text{NO}_x$  conjunto del Ciclo Combinado y otros posibles focos.
- Se considera  $\hat{p}_V$ , probabilidad estimada de que las emisiones del Ciclo Combinado puedan incidir en la estación  $e$  en función del viento.

- Se obtiene

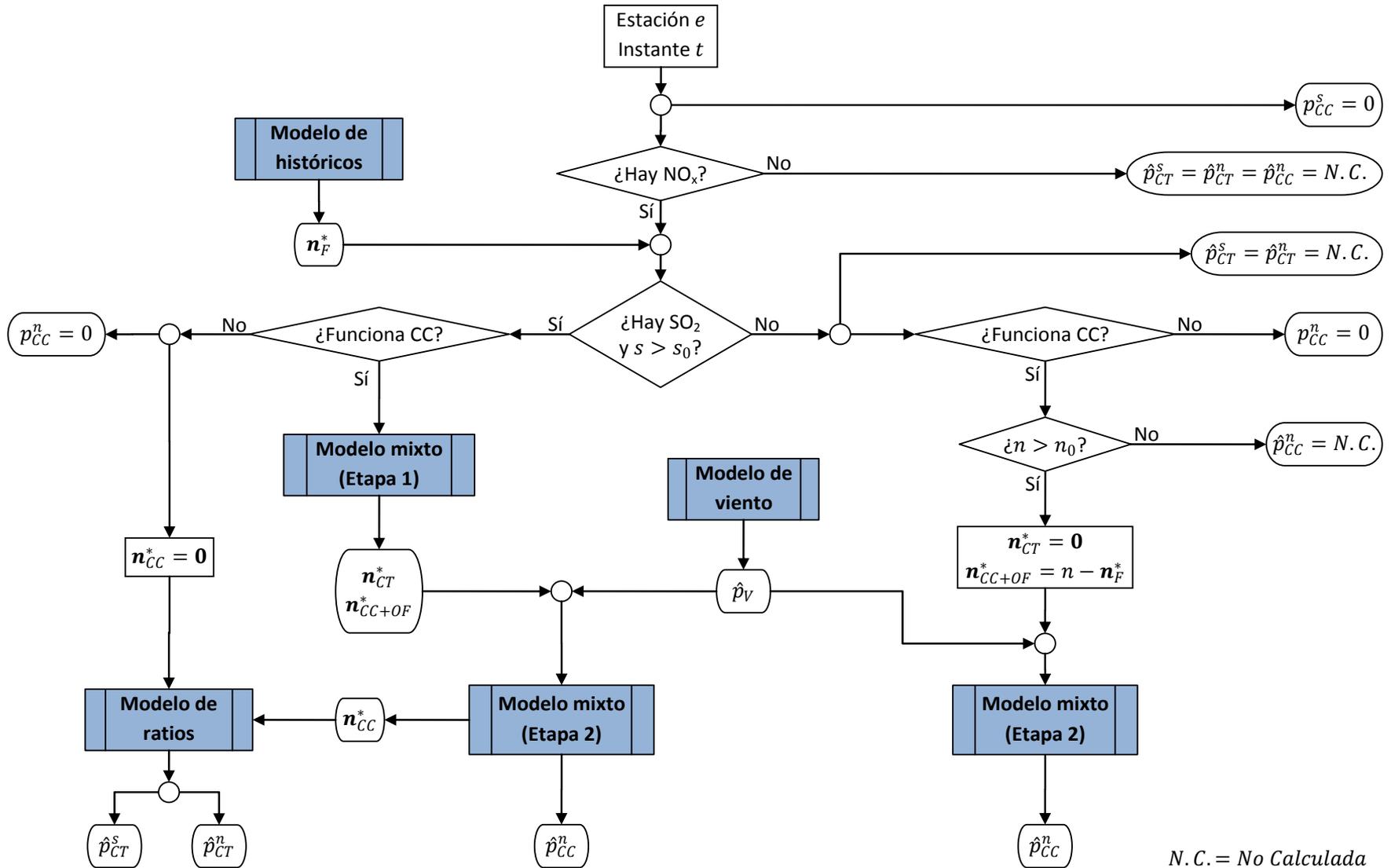
$$\mathbf{n}_{CC}^* = \hat{p}_V \mathbf{n}_{CC+OF}^*$$

- Se asigna la probabilidad de que el origen esté en la Central Térmica o el Ciclo Combinado a partir de las proporciones

$$\hat{p}_{CT}^n = \text{Mediana} \left( \frac{\mathbf{n}_{CT}^*}{n} \right)$$

$$\hat{p}_{CC}^n = \text{Mediana} \left( \frac{\mathbf{n}_{CC}^*}{n} \right)$$

# MODELOS DE CLASIFICACIÓN





# APLICACIÓN A DATOS REALES

 **APLICACIÓN A DATOS REALES**

 **Consideraciones previas**

La implementación de los modelos se ha realizado utilizando lenguaje R, para lo que se ha desarrollado una rutina específica.

Para ilustrar los ejemplos se ha utilizado la aplicación de visualización VPR INM 2007 (Versión 3), que forma parte del sistema de predicción estadística SIPEI.

Se ha seguido el esquema propuesto, utilizando en cada uno de los modelos los parámetros oportunos.

- $s_0 = 10$ , que es el 10% de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , primer nivel de alarma de  $\text{SO}_2$ .
- $n_0 = 10$ , que es el 20% de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , primer nivel de alarma de  $\text{NO}_x$ .

	Modelo de históricos	Modelo de ratios	Modelo de viento	Modelo mixto
$n_{min}$	2	2	--	2
$K$	120	--	120	--
$T$	--	120	30	120
$t_0$	--	t - 120	--	t - 120
$t_1$	--	--	$t - 15 - d_e/\tilde{V}_v$	--
$c_1$	--	--	3.6	--
$c_2$	--	--	2	--
$I$	--	512	--	--
$J$	--	1000	--	--

# ■ ■ ■ APLICACIÓN A DATOS REALES

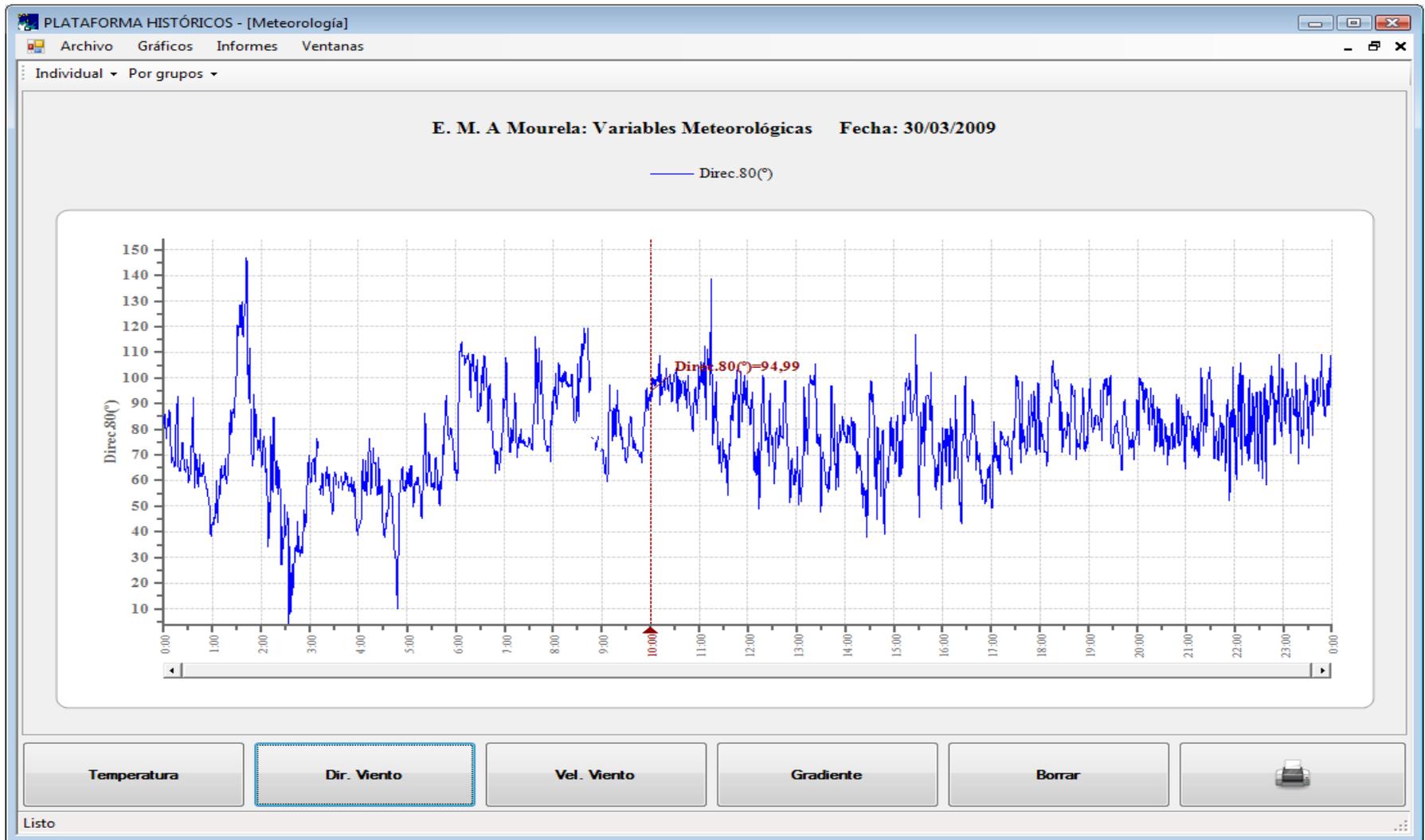
■ ■ ■ Un primer ejemplo

En este ejemplo se ilustra un instante, correspondiente a las 10:00 horas del día 30 de marzo de 2009, en el que se había producido una alarma para  $\text{NO}_x$  en la estación G5.

Se trata de un ejemplo muy ilustrativo dado que durante los instantes previos habían estado soplando vientos suaves procedentes del este, con pequeñas variaciones tanto nordeste como sureste, lo que permite disponer de diferentes niveles de incidencia sobre las estaciones.

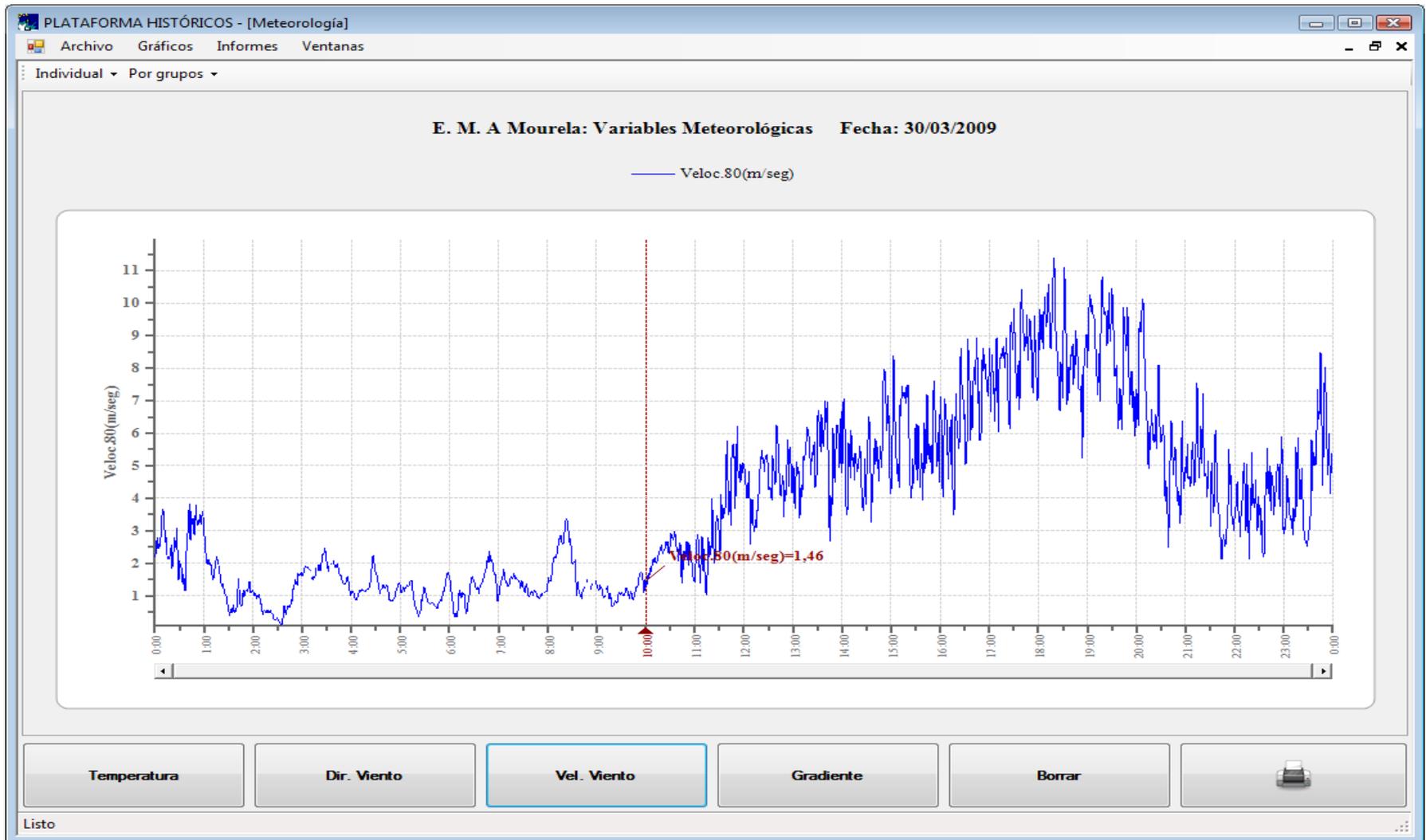
Además se tiene en varias de ellas niveles de  $\text{NO}_x$  por encima de  $n_0$ , que es cuando se aplican los modelos de clasificación.

# APLICACIÓN A DATOS REALES



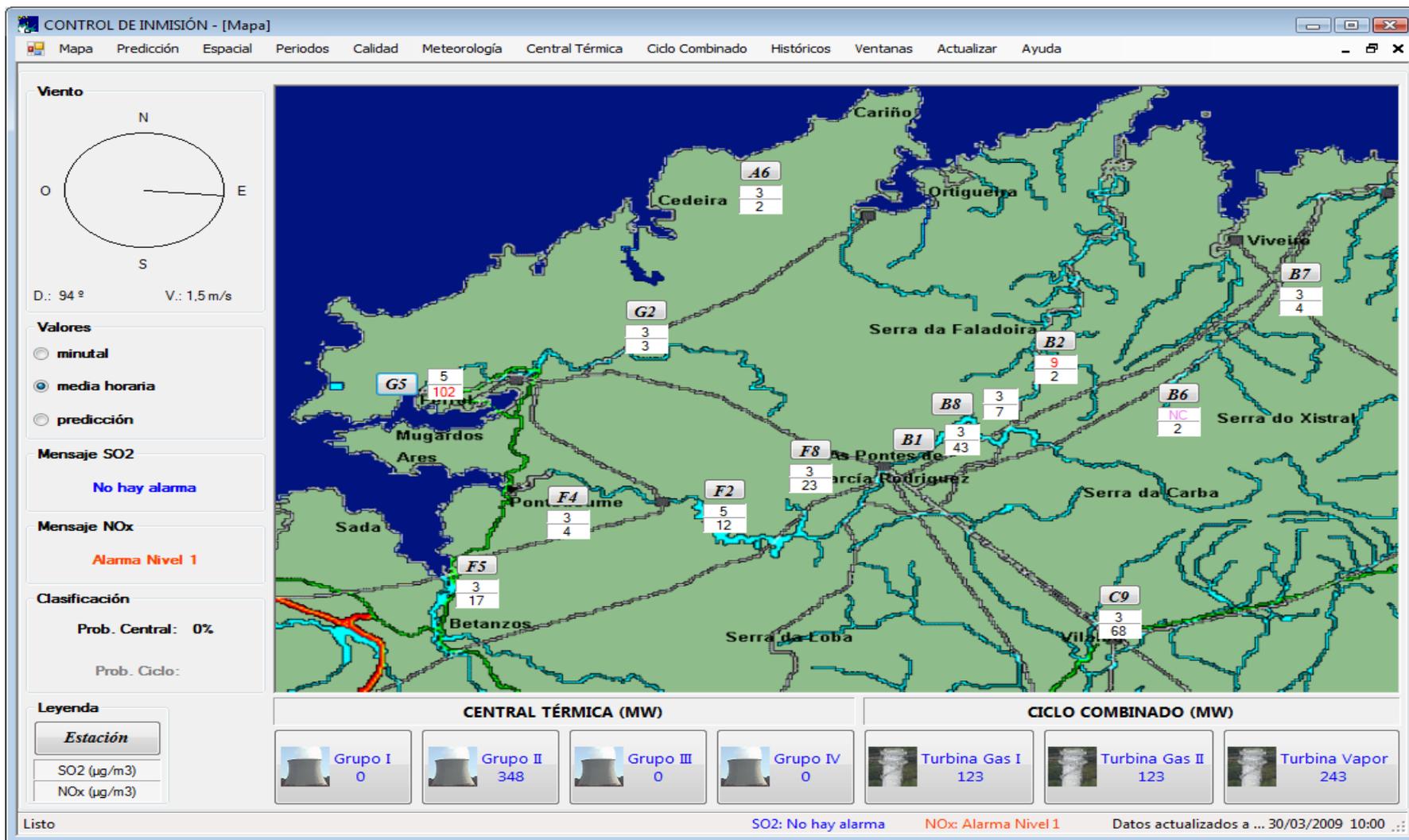
Dirección del viento a 80 metros (en grados)

# APLICACIÓN A DATOS REALES



Velocidad del viento a 80 metros (en m/s)

# APLICACIÓN A DATOS REALES

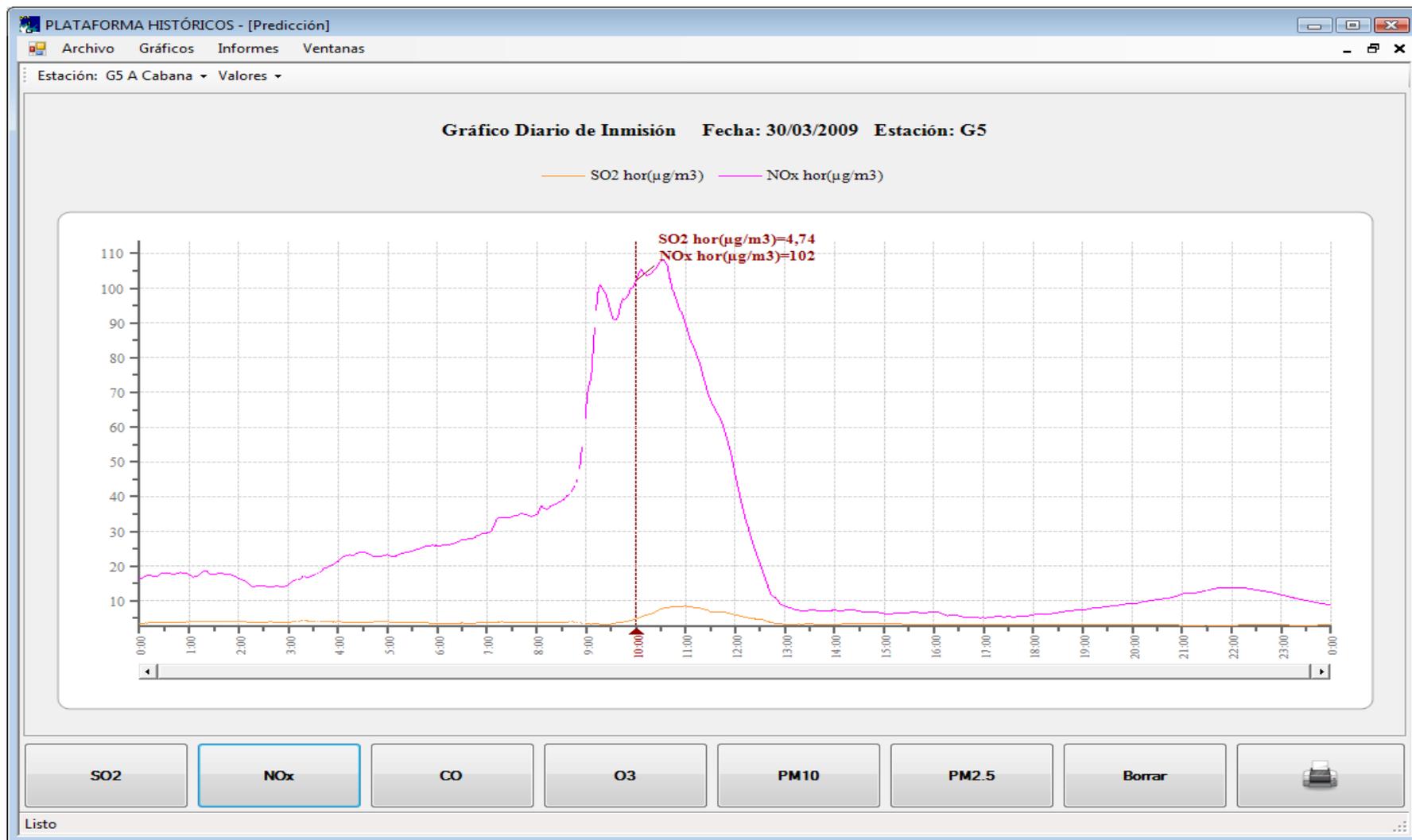


Situación registrada a las 10:00 horas del 30/03/2009

## RESULTADOS OBTENIDOS

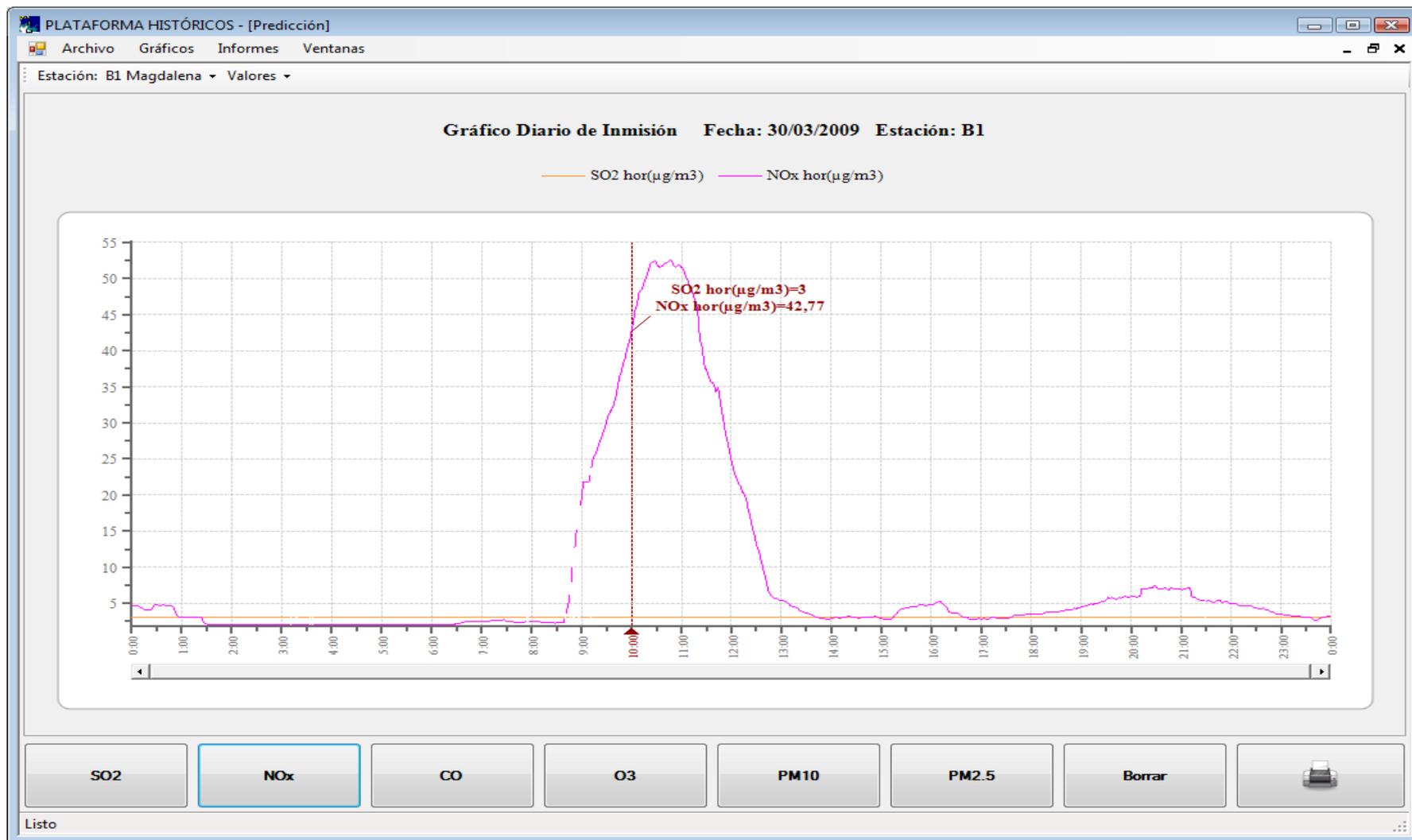
		B1	B2	B6	B7	B8	C9	G5	F2	F4	F5	F8	G2	A6
CT	SO <sub>2</sub>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	NO <sub>x</sub>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
CC	SO <sub>2</sub>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	NO <sub>x</sub>	0	--	--	--	--	0	0	7.5	--	0	40.6	--	--

# APLICACIÓN A DATOS REALES



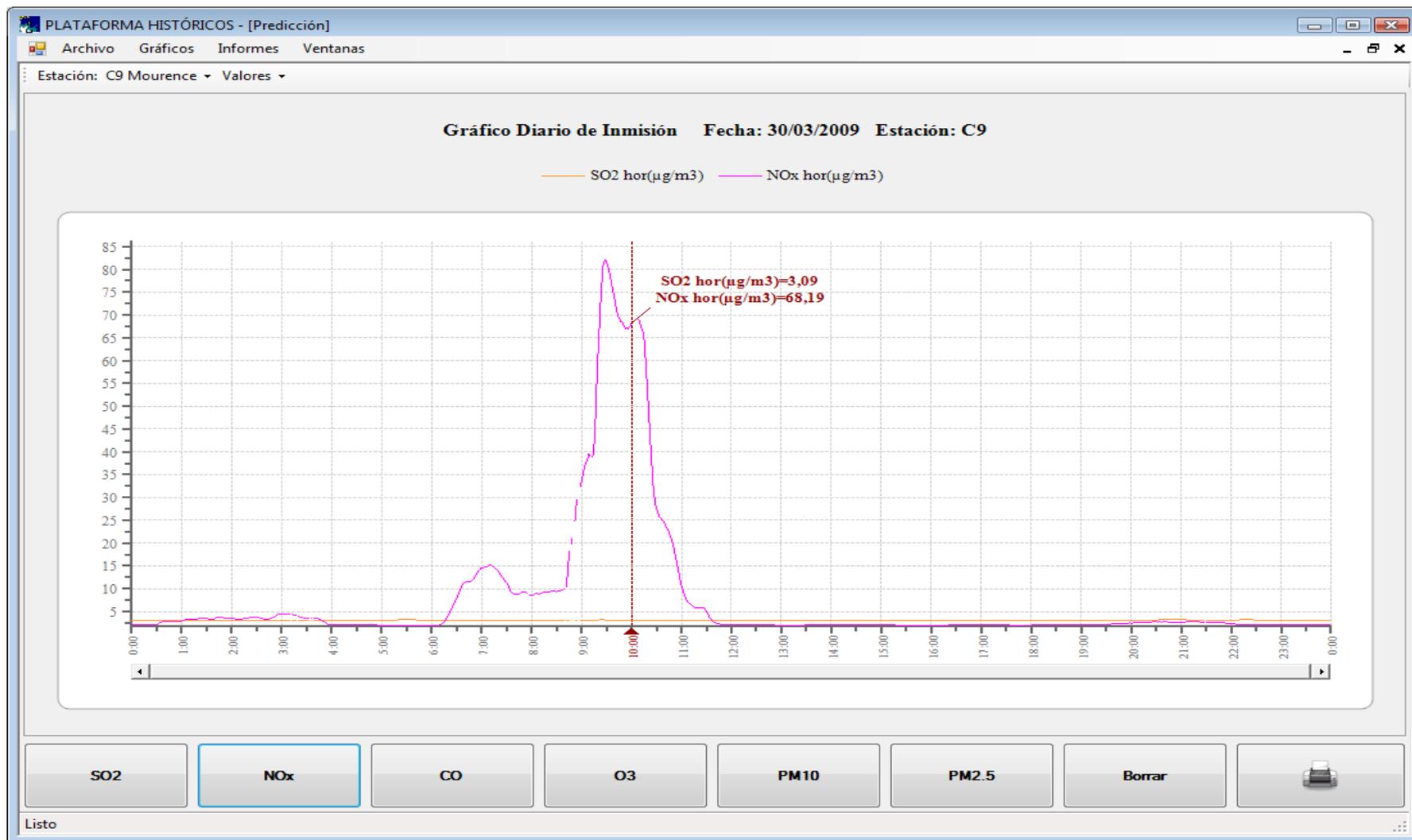
Niveles de inmisión de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  en G5 (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

# APLICACIÓN A DATOS REALES



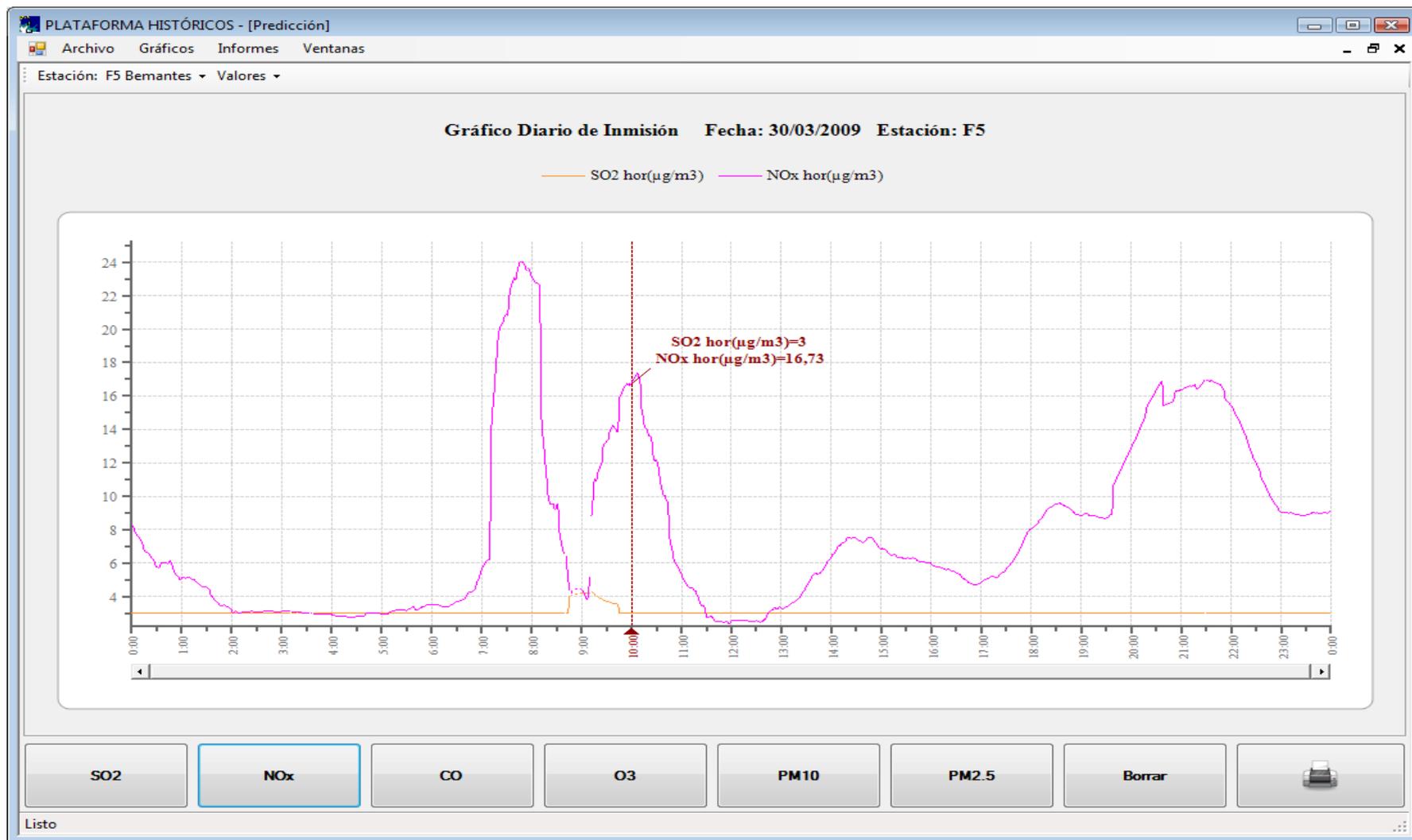
Niveles de inmisión de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en B1 (en µg/m<sup>3</sup>)

# APLICACIÓN A DATOS REALES



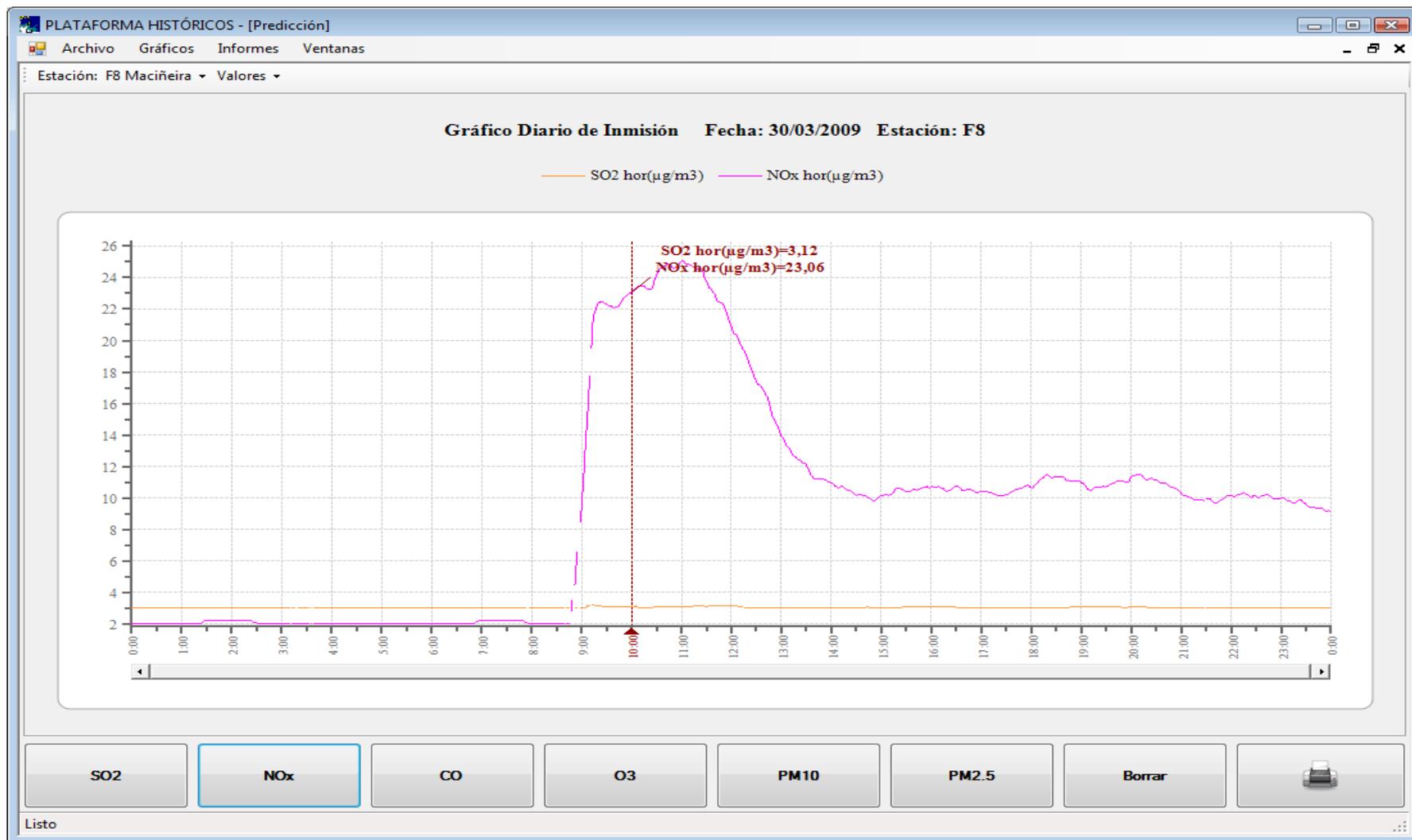
Niveles de inmisión de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en C9 (en µg/m<sup>3</sup>)

# APLICACIÓN A DATOS REALES



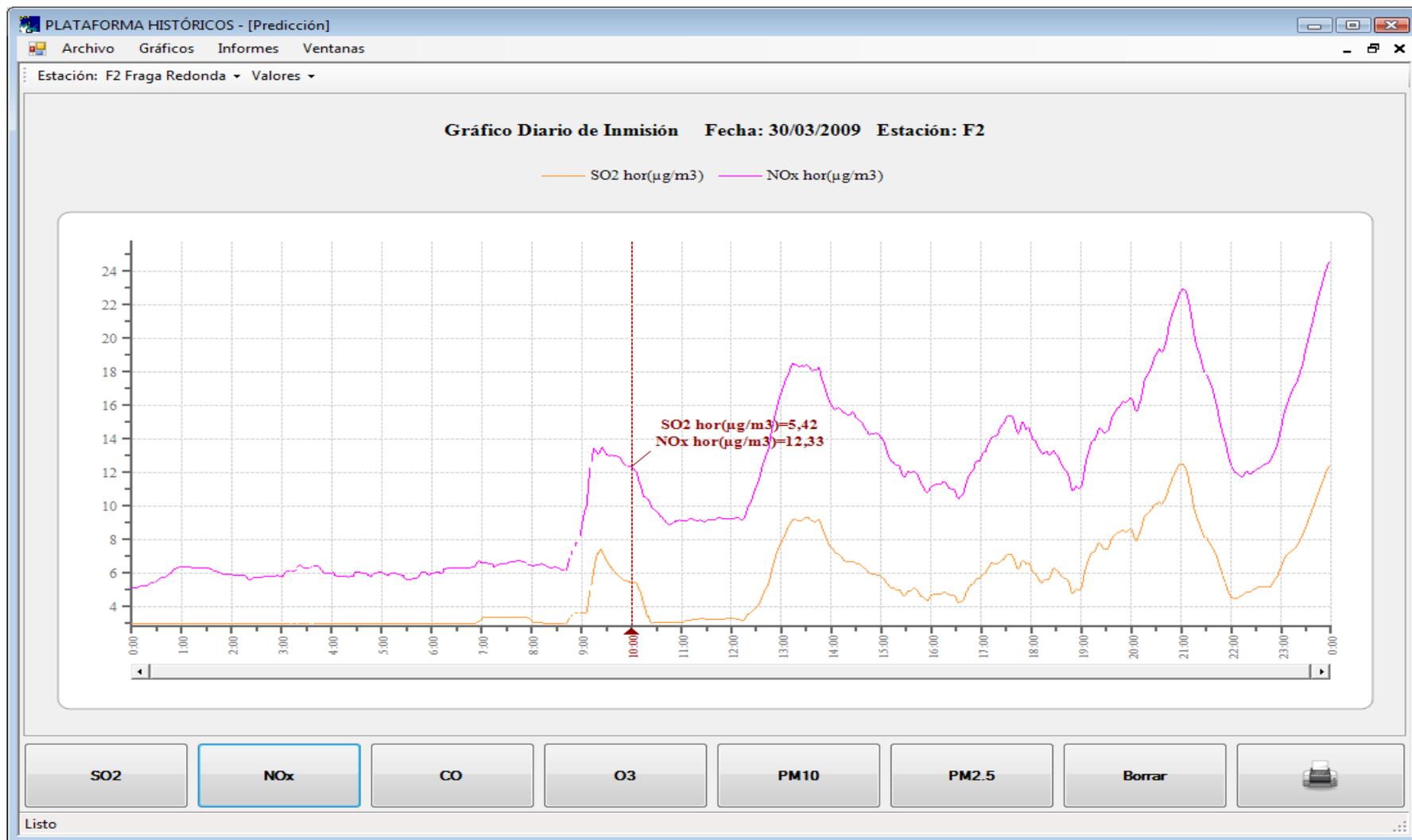
Niveles de inmisión de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en F5 (en µg/m<sup>3</sup>)

# APLICACIÓN A DATOS REALES



Niveles de inmisión de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  en F8 (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

# APLICACIÓN A DATOS REALES



Niveles de inmisión de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en F2 (en µg/m<sup>3</sup>)

A la vista de los resultados obtenidos, especialmente para F2, surge inevitablemente la inquietud por saber qué hubiese ocurrido si el nivel de  $\text{SO}_2$  fuese un poco mayor, lo suficiente como para que los modelos lo tuviesen en cuenta y se calculase también la probabilidad de que el origen estuviese en la Central Térmica.

Para que esto ocurriese tendría que observarse un nivel de  $\text{SO}_2$  superior a 10, el fijado para  $s_0$ . Cosa que no ocurre en F2, donde hay tan solo  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Veamos entonces lo que ocurre si se cambia el parámetro y se fija  $s_0 = 4$ .

## RESULTADOS OBTENIDOS

$s_0 = 10$		B1	B2	B6	B7	B8	C9	G5	F2	F4	F5	F8	G2	A6
CT	SO <sub>2</sub>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	NO <sub>x</sub>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
CC	SO <sub>2</sub>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	NO <sub>x</sub>	0	--	--	--	--	0	0	7.5	--	0	40.6	--	--

$s_0 = 4$		B1	B2	B6	B7	B8	C9	G5	F2	F4	F5	F8	G2	A6
CT	SO <sub>2</sub>	--	0.8	--	--	--	--	0	8.4	--	--	--	--	--
	NO <sub>x</sub>	--	0	--	--	--	--	0	7.3	--	--	--	--	--
CC	SO <sub>2</sub>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	NO <sub>x</sub>	0	0	--	--	--	0	0	2.6	--	0	42.2	--	--

## CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos parecen ajustarse adecuadamente a lo que cabría esperar.
- Las similitudes en el comportamiento observado en B1, C9 y G5 resultan evidentes y, siendo las tres urbanas, lo más probable es que el  $\text{NO}_x$  registrado sea debido al tráfico de vehículos.
- Los niveles observados en F5 podrían deberse a actividades agrícolas o industriales propias de la zona, al tráfico o a todas ellas.
- F8 está calificada como forestal y no tiene industrias ni carreteras próximas, por lo que parece más que razonable que se esté viendo afectada por las emisiones del Ciclo Combinado.
- A F2, que está algo más alejada y calificada como rural/forestal, también parece razonable que esté llegando algo del Ciclo Combinado y, viendo la evolución en los niveles de  $\text{SO}_2$ , también algo de la Central Térmica.

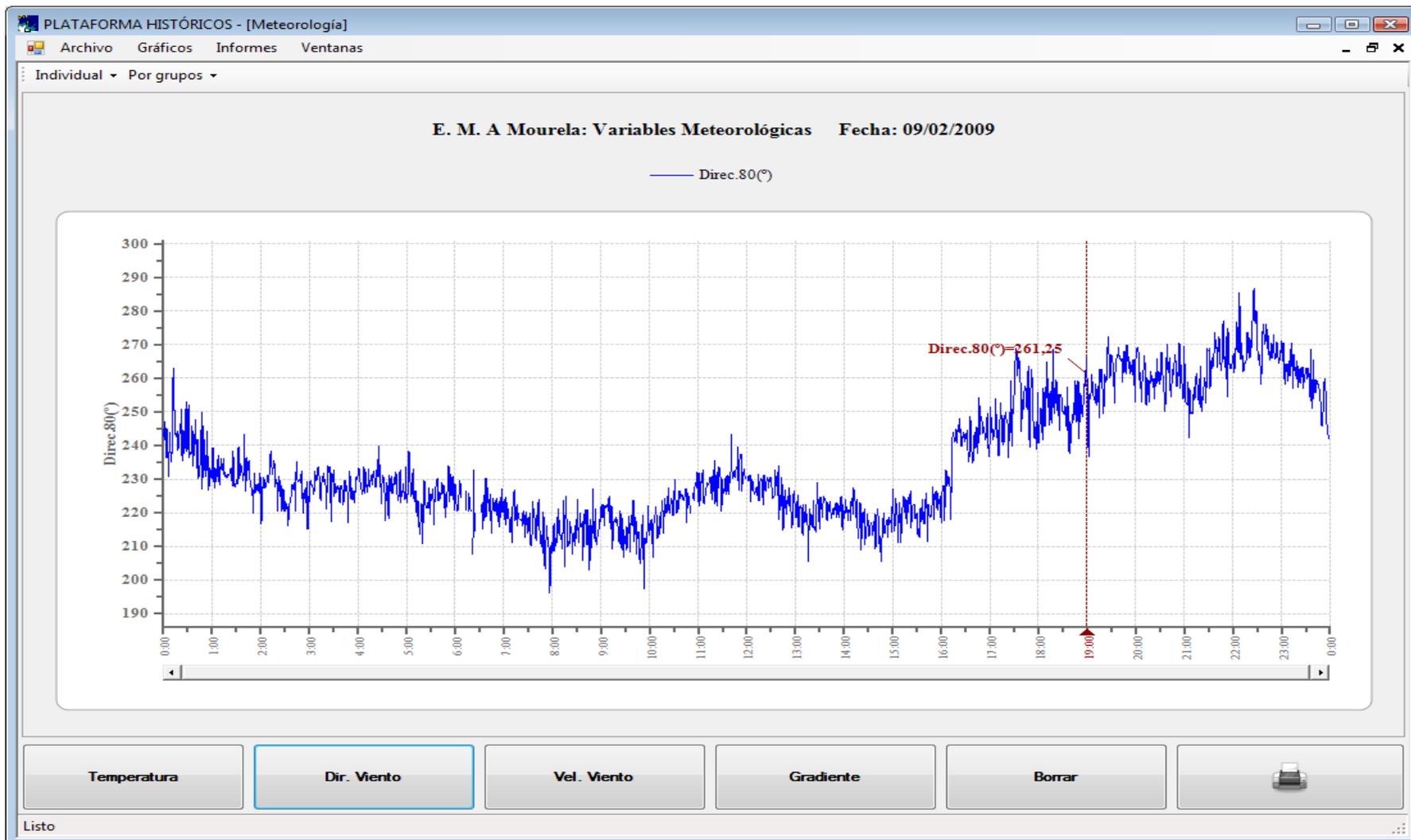
# ■ ■ ■ APLICACIÓN A DATOS REALES

■ ■ ■ Un segundo ejemplo

En este ejemplo se ilustra un instante, correspondiente a las 19:00 horas del día 2 de febrero de 2009, en el que se estaban registrando niveles elevados de  $\text{SO}_2$  en tres estaciones, B2, G5 y G2, siendo extremadamente elevados en la primera de ellas.

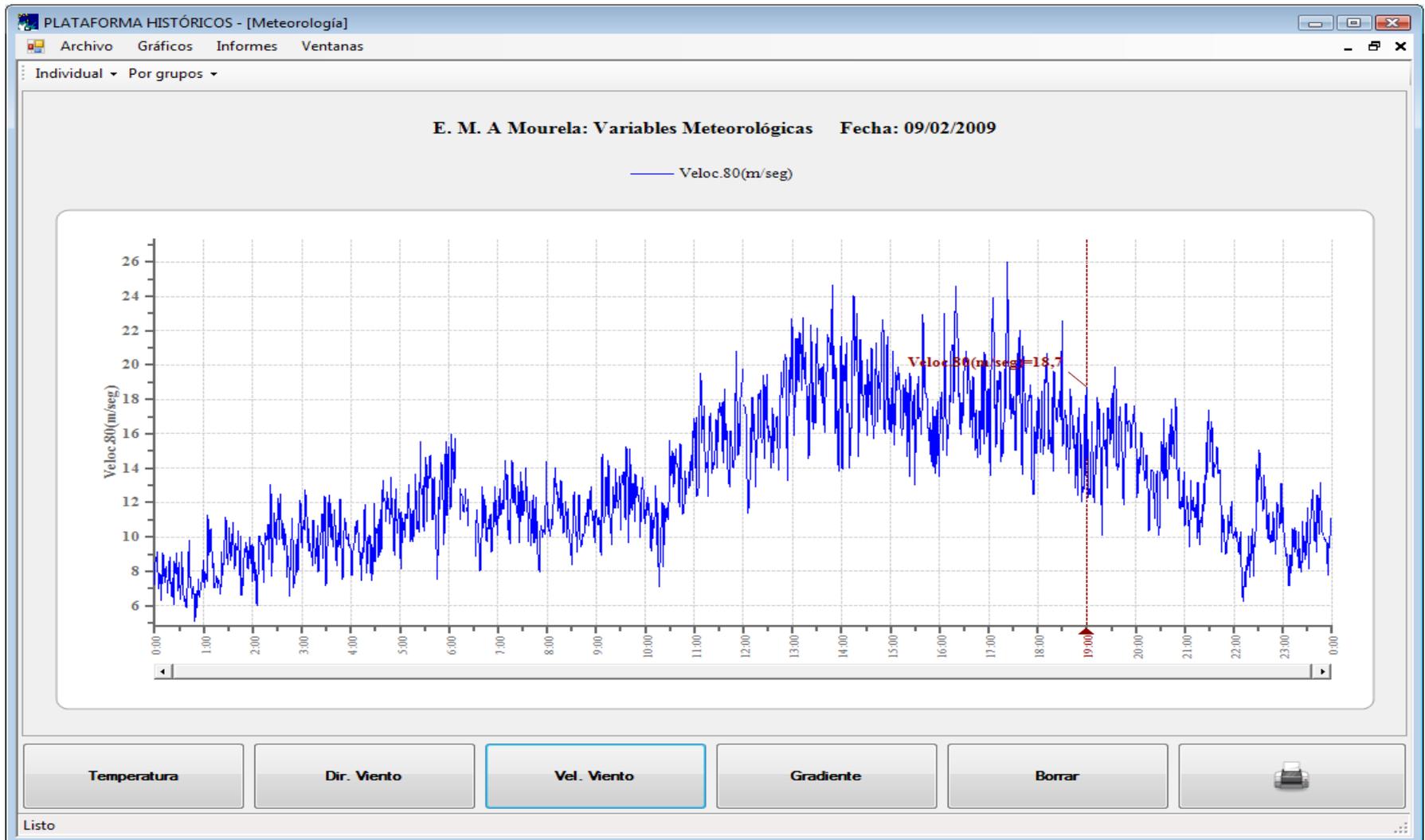
Con este ejemplo se pretende comprobar hasta qué punto los modelos son capaces de discriminar episodios atípicos o que nada tienen que ver con la actividad de las centrales.

# APLICACIÓN A DATOS REALES



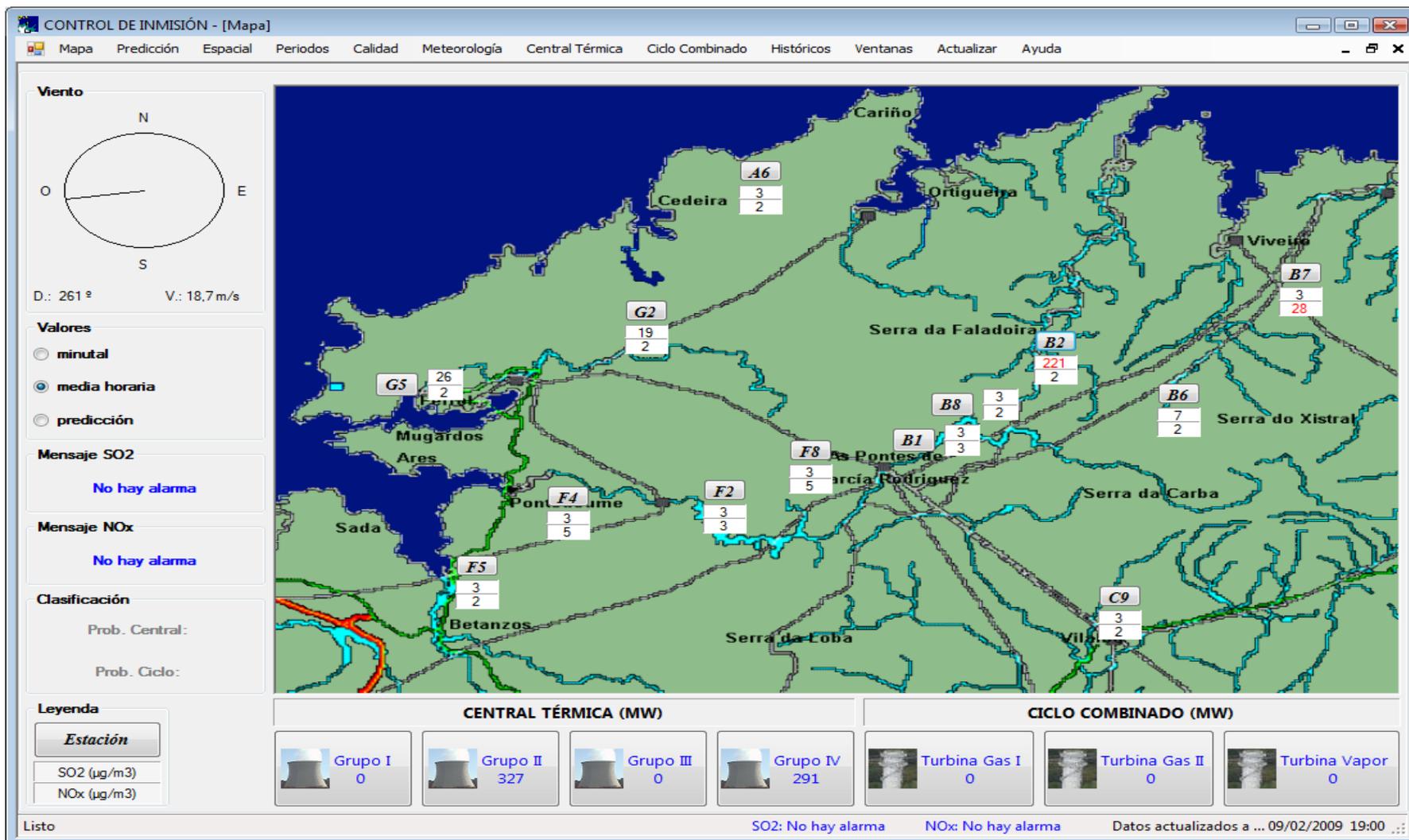
Dirección del viento a 80 metros (en grados)

# APLICACIÓN A DATOS REALES



Velocidad del viento a 80 metros (en m/s)

# APLICACIÓN A DATOS REALES

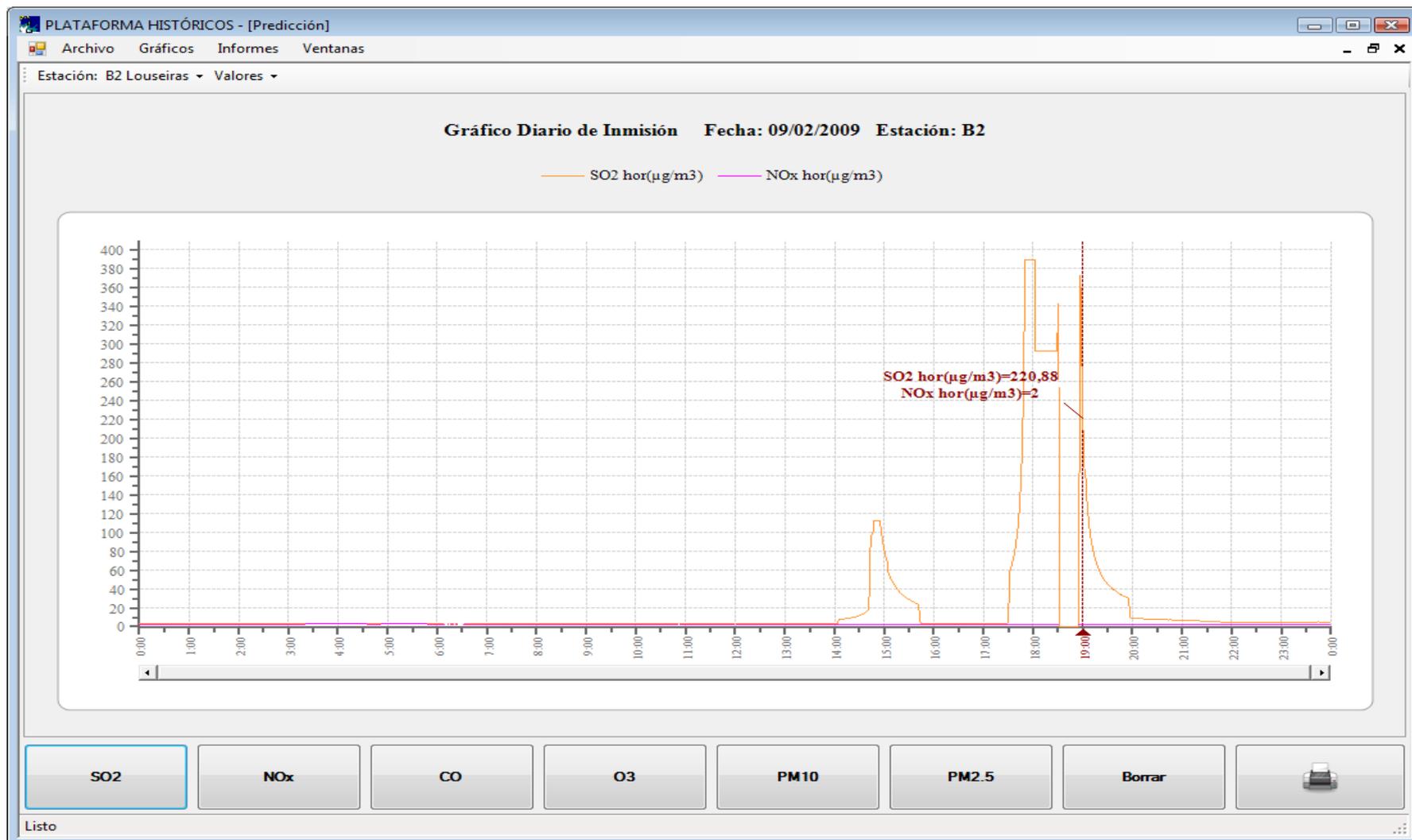


Situación registrada a las 19:00 horas del 09/02/2009

## RESULTADOS OBTENIDOS

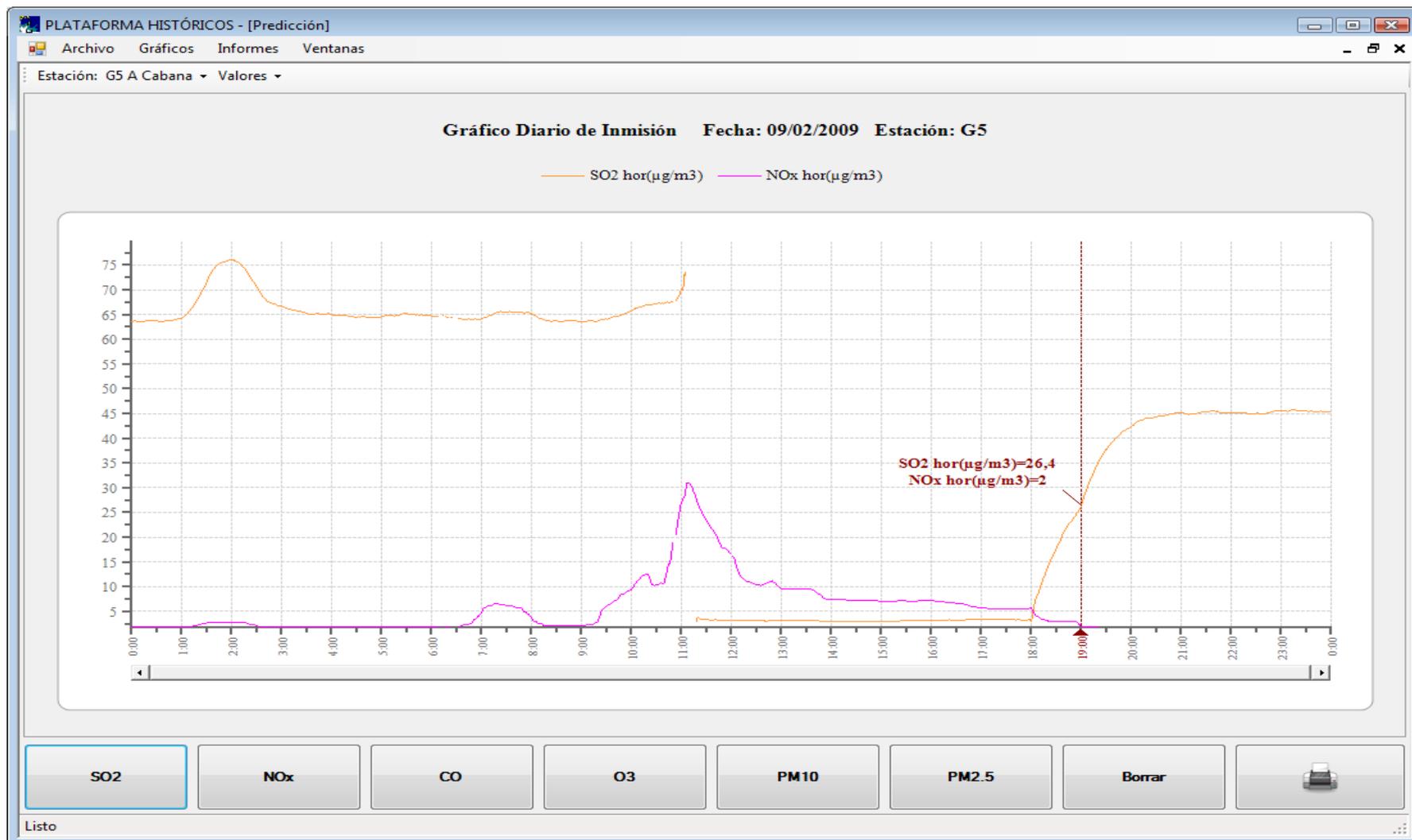
		B1	B2	B6	B7	B8	C9	G5	F2	F4	F5	F8	G2	A6
CT	SO <sub>2</sub>	--	0	--	--	--	--	0	--	--	--	--	0.1	--
	NO <sub>x</sub>	--	0	--	--	--	--	0	--	--	--	--	0	--
CC	SO <sub>2</sub>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	NO <sub>x</sub>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

# APLICACIÓN A DATOS REALES



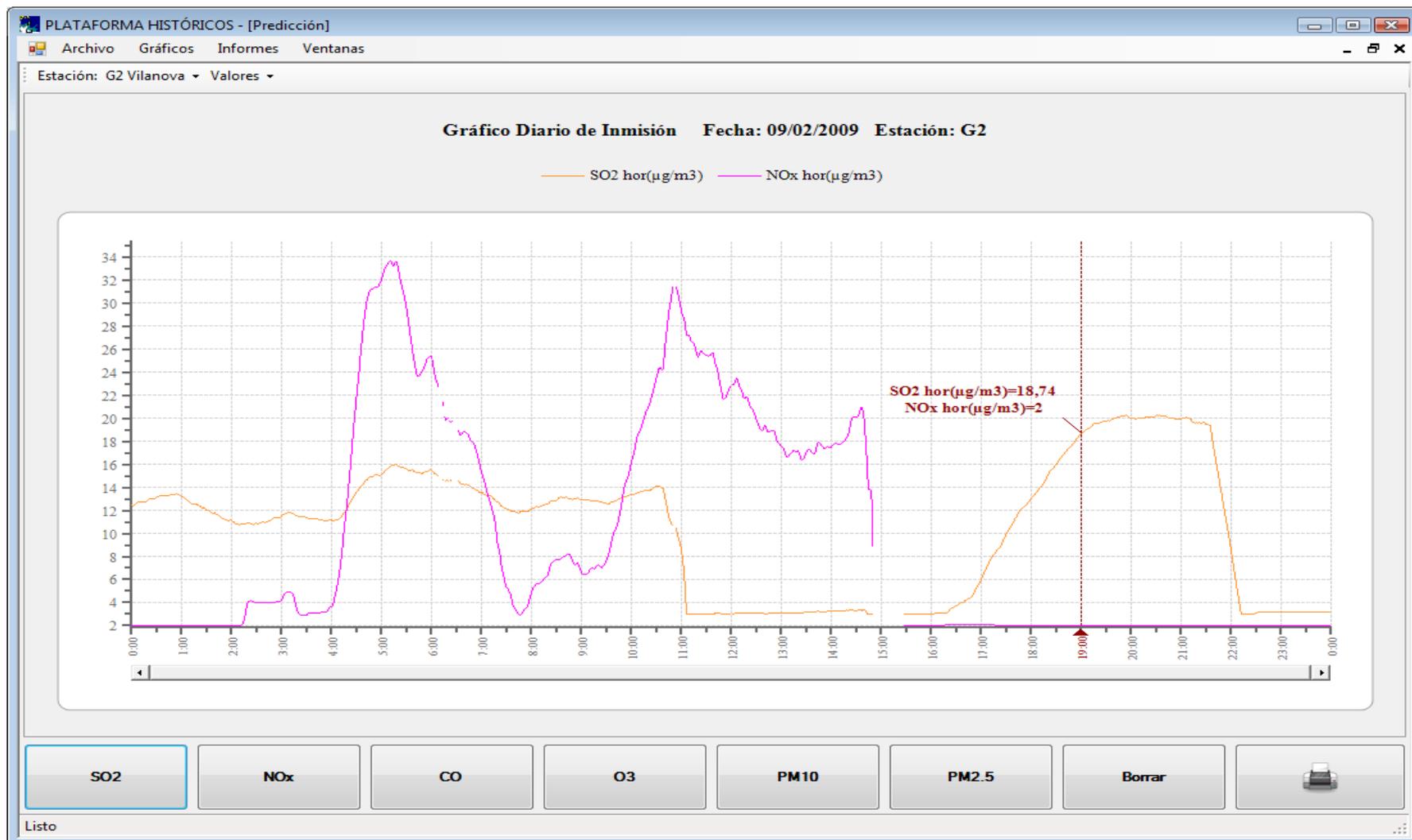
Niveles de inmisión de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en B2 (en μg/m<sup>3</sup>)

# APLICACIÓN A DATOS REALES



Niveles de inmisión de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  en G5 (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

# APLICACIÓN A DATOS REALES



Niveles de inmisión de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en G2 (en µg/m<sup>3</sup>)

## CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos parecen ajustarse adecuadamente a lo que cabría esperar.
- En B2, G5 y G2 se observan niveles mucho más elevados de  $\text{SO}_2$  que de  $\text{NO}_x$ , que además son prácticamente nulos, lo que descarta la posibilidad de que su origen se pueda encontrar en las emisiones de la Central Térmica, donde el  $\text{NO}_x$  está incluso por encima del  $\text{SO}_2$ .



# **OTROS MODELOS EN ESTUDIO**

### ■ **DATOS DIRECCIONALES**

Para el desarrollo de los nuevos modelos presentados, en particular el de viento, se han considerado aspectos relacionados con el estudio de datos direccionales, siendo ésta una línea de investigación que habrá que explorar con mayor detalle en futuros desarrollos.

### ■ **DATOS FUNCIONALES**

Otra línea en la también se ha estado trabajando, y en la que se ha avanzado algo más que en la anterior, es en el uso de datos funcionales .

Para éstos se ha llegado a plantear un modelo, en el que se seguirá trabajando para incorporarlo a los modelos actuales.



# REFERENCIAS

## REFERENCIAS

- Efron, B. & Tibshirani, R.J. (1993). *An introduction to the bootstrap*. Chapman & Hall.
- Ferraty, F. & Vieu, P. (2006). *Nonparametric Functional Data Analysis: Theory and Practice*. Springer.
- Google Earth. Google. <http://www.google.com>.
- Mardia, Kanti V. & Jupp, Peter E. (2000). *Directional Statistics*. John Wiley & Sons Ltd.
- Piñeiro Lamas, María (2007). *Predicción de los niveles de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en el entorno de una central térmica*. Trabajo de Investigación Tutelado. Máster de Bioestadística 2005-2007. Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Universidad de Santiago de Compostela.
- Proymasa-Endesa (2006). *Redefinición de la Red de Inmisión de Endesa en As Pontes*.

- R Project. The R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org>.
- Ramsay, J.O. & Silverman, B.W. (2005). *Functional Data Analysis*. 2<sup>nd</sup> edn. Springer.
- Silverman, B.W. (1986). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. Chapman & Hall.
- Wand, M.P. & Jones, M.C. (1995). *Kernel Smoothing*. Chapman & Hall.



*... gracias por su atención.*