

Autor: Francisco Manuel Prieto Magdalena

Directores: Wenceslao González Manteiga y Manuel Febrero Bande

## INTRODUCCIÓN

Últimamente se viene hablando mucho del calentamiento global del planeta como un problema de especial gravedad que podría afectar enormemente al conjunto de la sociedad en los años venideros. Sin embargo, ni éste es un problema nuevo ni es el único que afecta negativamente al Medio Ambiente. Numerosos colectivos sociales y científicos vienen alertando desde mucho tiempo atrás de lo nocivas que pueden llegar a ser, tanto para el ecosistema como para la propia salud humana, las actividades derivadas del desarrollo industrial y la explotación de los recursos naturales existentes. Son cada vez más las personas que están aunando esfuerzos y alzando la voz para conseguir concienciar y hacer reaccionar a aquellos en cuyas manos está tomar o exigir que se tomen medidas al respecto. Así, algunas administraciones han ido dictando en los últimos tiempos normas referidas a la vigilancia y control de este tipo de actividades con el objetivo de garantizar un desarrollo sostenible y más respetuoso con el Medio Ambiente. Por su parte las empresas, ya sea por conciencia o por obligación, han ido incluyendo entre sus planes medidas encaminadas a prevenir y controlar el impacto medioambiental derivado de su propia actividad.

Un claro ejemplo se puede encontrar en el ambicioso programa de colaboración que se viene desarrollando desde hace varios años entre la Sección de Medio Ambiente de la Unidad de Producción Térmica de As Pontes y el Departamento de Estadística e I.O. de la Universidad de Santiago de Compostela. Esta colaboración se ha basado fundamentalmente en el desarrollo de modelos estadísticos que permitan predecir la aparición de episodios de alteración de la calidad del aire. Sin embargo, en la U.P.T. de As Pontes se han producido últimamente importantes cambios que han motivado la aparición de nuevos intereses encaminados, además de a predecir, a determinar el origen más probable de las emisiones que pudiesen motivar la aparición de un episodio de contaminación.

## 1. LA U.P.T. DE AS PONTES

El municipio gallego de As Pontes de García Rodríguez alberga uno de los más importantes yacimientos mineros de lignito pardo de la Península Ibérica. Años después de su descubrimiento se inició en sus proximidades la construcción de una central térmica para el aprovechamiento y explotación del mineral extraído en la producción de energía eléctrica. Esta instalación representa uno de los complejos mineroeléctricos más importantes del continente.

La Central Térmica inició su actividad en el año 1976 con la puesta en funcionamiento del primero de los cuatro grupos que conformaban el diseño de la misma y cuenta en total con una potencia nominal eléctrica aproximada de 1400 MW.

Con el paso de los años las previsiones de agotamiento del yacimiento obligaron a diseñar un plan que permitiese ir incorporando otros tipos de carbón, lo que obligaba a transformar los grupos de la central para conseguir una mejora en la eficiencia del proceso. Esta operación se realizó en dos fases entre los años 1993-1996 y 2005-2008.

Paralelamente a esta última actuación se estaba construyendo ya en las inmediaciones una nueva central, ésta de ciclo combinado, que contaría con una potencia total aproximada de 800 MW y entraría en funcionamiento en el primer semestre del año 2008.

En la actualidad, la Mina está cerrada. En ella se han iniciado ya los trabajos de regeneración que contemplan el llenado del hueco dejado por el lignito pardo con aguas procedentes de la lluvia y los ríos cercanos para formar un impresionante lago artificial. La Central Térmica, completamente transformada, funciona a pleno rendimiento utilizando única y exclusivamente carbón subbituminoso de importación y el Ciclo Combinado se encuentra ya oficialmente en producción.

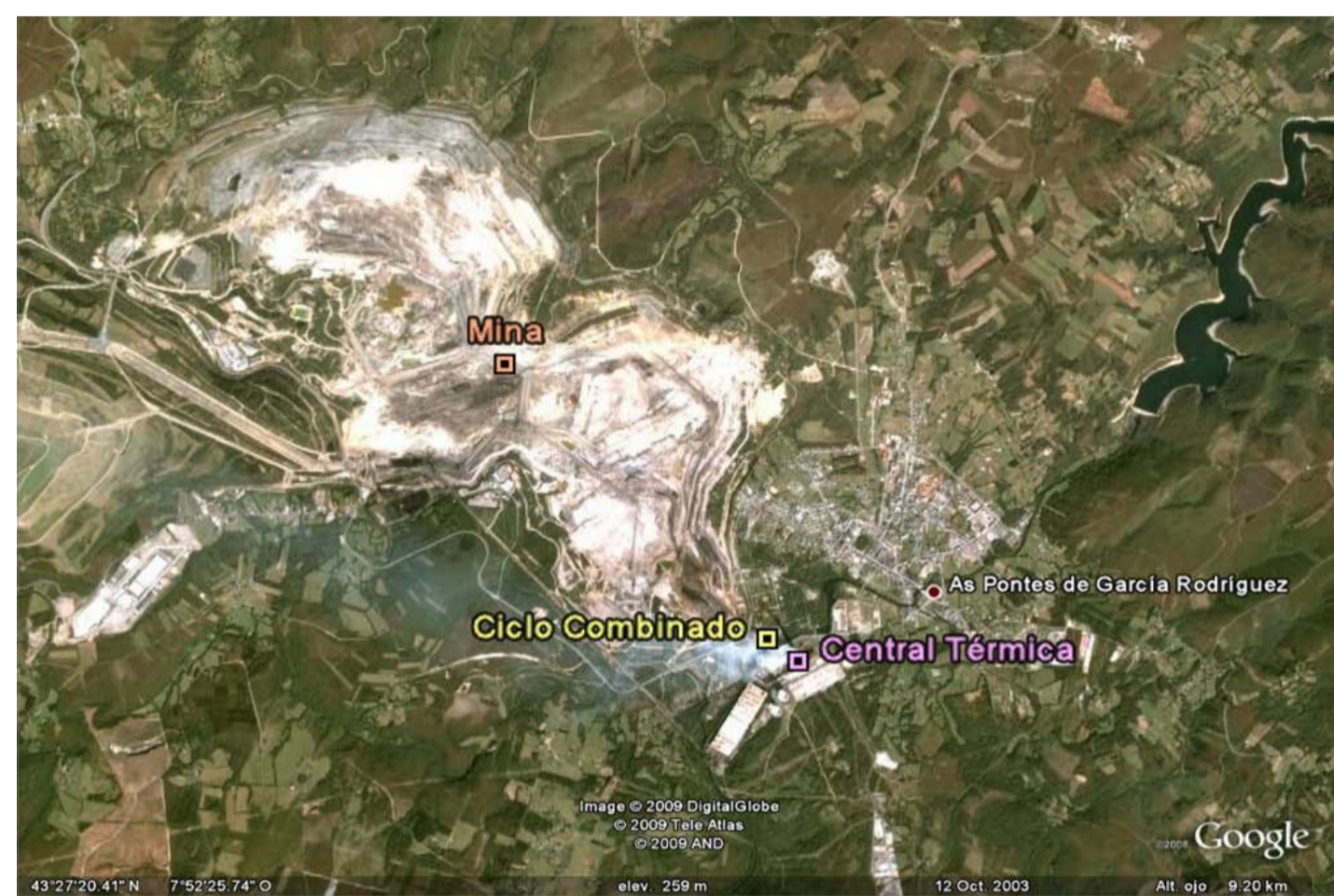


Figura 1: Situación de la Mina, la Central Térmica, el Ciclo Combinado y el propio municipio de As Pontes de García Rodríguez.

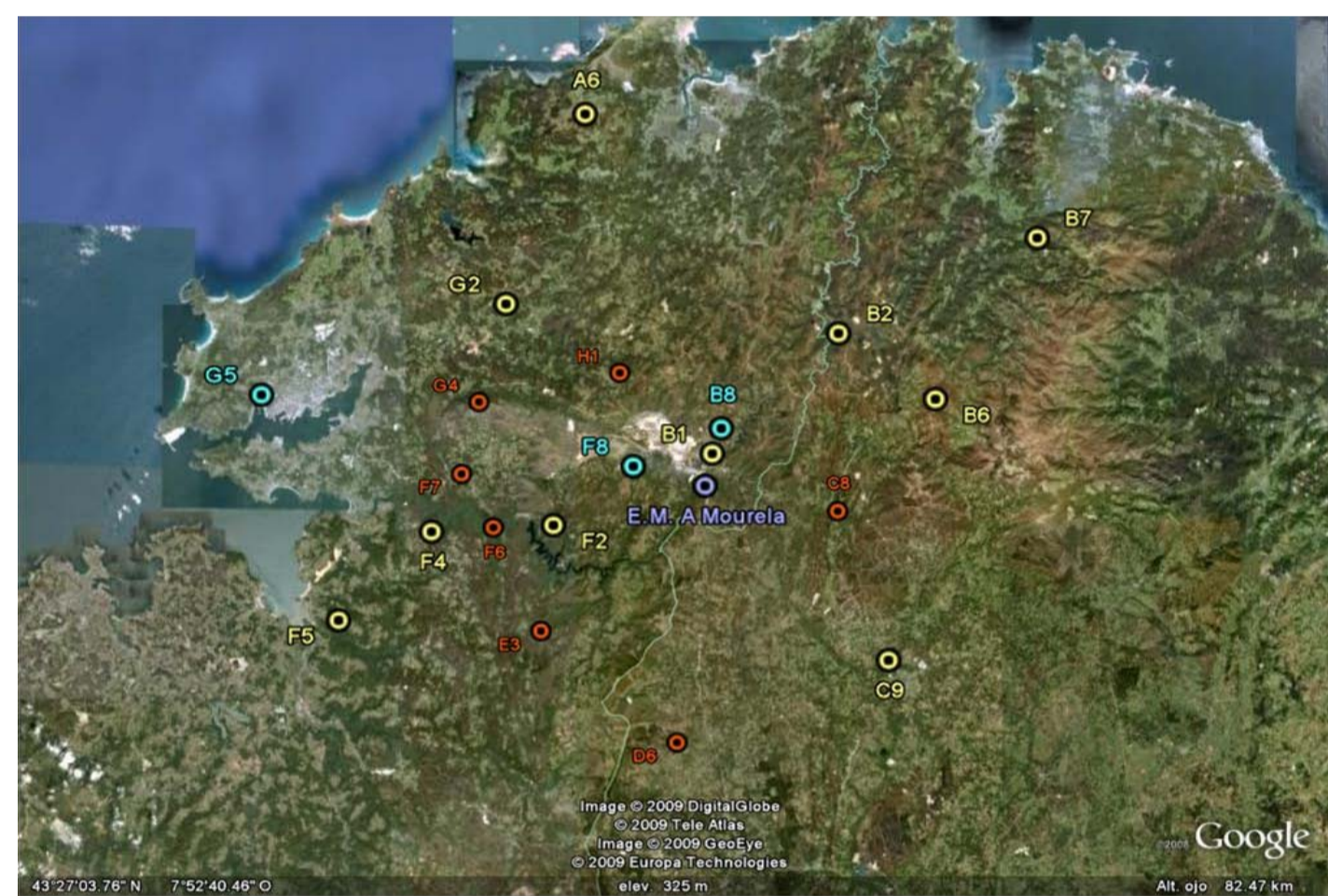


Figura 2: Red de Vigilancia (en amarillo las estaciones sin cambios, en naranja las eliminadas y en azul las nuevas) y E. M. de A Mourela.

La U.P.T. de As Pontes cuenta con un Sistema de Control Suplementario de la Contaminación Atmosférica que permite llevar un seguimiento y control de las emisiones y los niveles de concentración de agentes contaminantes en el entorno de la instalación, lo que permite adecuar las condiciones de operación de la instalación para tratar de evitar posibles episodios de contaminación.

Integrado en él se encuentra el Sistema de Predicción Estadística de Inmisión (SIPEI), desarrollado por el Dpto. de Estadística e I.O. de la U.S.C. y en el que se han implementado los nuevos modelos de clasificación.

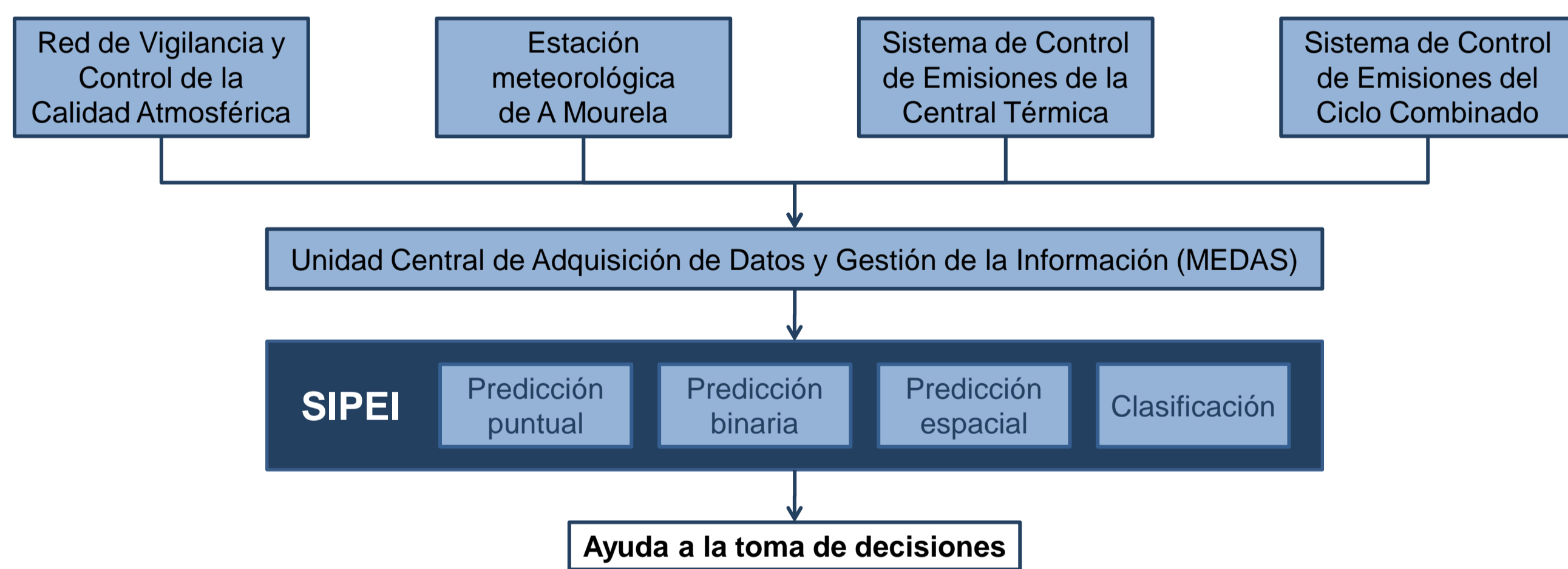


Figura 3: Sistemas de Control.

## 2. MODELOS DE CLASIFICACIÓN

Cuando surgió el interés inicial por clasificar el origen de un episodio de alteración de la calidad del aire el único posible foco de emisión existente en la U.P.T. de As Pontes era la Central Térmica. Sin embargo, la reciente construcción del Ciclo Combinado y la profunda transformación de la propia Central Térmica han supuesto una importante alteración del mapa de emisiones en la zona. Tanto que incluso ha obligado a revisar y redefinir la red de estaciones que se tenía.

Esta nueva situación obligaba irremediablemente a replantear el modelo de clasificación inicial, que se había desarrollado únicamente para la Central Térmica y se basaba en el estudio de los ratios de emisión y de inmisión que relacionaban el SO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub>. Así pues, al problema inicial se añadían ahora nuevos condicionantes que aumentaban enormemente su complejidad.

Teniendo en cuenta las incógnitas y dificultades que planteaba la nueva situación se diseñó una estructura modular compuesta por cuatro modelos, cada uno dotado de identidad propia y orientado a resolver un problema concreto, de forma que la conexión de todos ellos daría como resultado la respuesta al problema planteado.

### Modelo de históricos

- Se considera  $n_i^h$  datos históricos del NO<sub>x</sub> de fondo en una estación  $e$ , el valor mínimo prefijado  $n_{min}$  y se calcula la proporción de datos de  $n_i^h$  cuyo valor es  $n_{min}$ , que será  $\rho$ .
- Se considera una mezcla 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  $n_i^h$  cuyo valor supere a  $n_{min}$ .
- Se simulan  $K$  valores de la variable  $X$  y se obtiene la muestra  $n_i^* = (n_{i,1}^*, \dots, n_{i,K}^*)$ .

### Modelo de ratios

- Se consideran  $s$  y  $n$ , niveles de inmisión de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en una estación  $e$  en un instante  $t$  y  $S_{CT}$  y  $N_{CT}$ , niveles de emisión de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> de la Central Térmica en  $T$  instantes de tiempo anteriores a  $t$ .
- Se consideran  $n_i^*$  y  $n_{CC}^*$ , muestras artificiales del NO<sub>x</sub> de fondo y correspondiente al Ciclo Combinado, respectivamente, en la estación  $e$  y se calcula  $n_{-F-CC}^* = n - n_i^* - n_{CC}^*$ .
- Se calculan los ratios de inmisión  $r_{-F-CC}^* = \frac{s}{n_{-F-CC}^*}$  y de emisión de la Central Térmica  $R_{CT} = \frac{S_{CT}}{N_{CT}}$ .
- Se estiman de manera no paramétrica  $\hat{f}_{-F-CC}$  y  $\hat{f}_{CT}$ , densidades de los ratios calculados y se asigna la probabilidad de que el origen esté en la Central Térmica como  $\hat{p}_{CT} = \text{argmin}_p \sum_{i=1}^n (\hat{f}_{-F-CC}(x_i) - p \hat{f}_{CT}(x_i))^2$ .

### Modelo de viento

- Se consideran  $d_e$  y  $D_e$ ,  $D_V$  y  $V_V$ , distancia y dirección de la estación  $e$  al Ciclo Combinado y dirección y velocidad del viento en  $T$  instantes de tiempo anteriores a  $t$ , respectivamente.
- Se obtiene  $PV_V = (PV_{V,1}, \dots, PV_{V,T})$ , proyecciones de las  $T$  velocidades de  $V_V$  sobre la dirección fijada por  $D_e$  como  $PV_{V,i} = V_{V,i} \cos(D_{V,i} - D_e)$ ,  $i \in I = \{1, \dots, T\}$ .
- Para cada  $i \in I_e = \{i \in I: PV_{V,i} > 0 \text{ ó } V_{V,i} = 0\}$  se genera una distribución Ji-Cuadrado  $\chi_{m_i}^2$  sobre la dirección  $D_e$ , de  $m_i = c_1 \ln(\exp\{c_2/c_1\} + PV_{V,i})$  grados de libertad, 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  $n_i^* = (n_{i,1}^*, \dots, n_{i,K}^*)$ . Y para  $i \in I \setminus I_e$  se toman muestras de  $K$  valores nulos,  $n_i^* = (0, \dots, 0)$ . Sea  $n_e^* = (n_{i,k}^*)_{i \in I, k \in K}$  la muestra conjunta.
- Se calcula  $\hat{\alpha} = F_n(d_e)$ , evaluando la distribución empírica  $F_n$  de la muestra  $n_e^*$  en el punto especificado por la distancia  $d_e$  para obtener la probabilidad de incidencia en la estación  $e$  como  $\hat{p}_V = 1 - \lfloor 2\hat{\alpha} - 1 \rfloor$ .

### Modelo mixto

#### Etapa 1

- Se considera una descomposición del NO<sub>x</sub> 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 NO<sub>x</sub> de fondo, 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 SO<sub>2</sub> en inmisión es debido exclusivamente a ésta, es decir  $s = s_{CT}$ , se podrían plantear una serie de equivalencias del tipo  $\frac{S_{CT}}{N_{CT}} = R_{CT}^S = r_{CT}^S = \frac{s_{CT}}{n_{CT}} = \frac{s}{n_{CT}}$  para obtener las muestras artificiales para la Central Térmica  $n_{CT}^* = \frac{s}{R_{CT}^S}$  y una conjunta del Ciclo Combinado y otros posibles focos  $n_{CC+OF}^* = n - n_F - n_{CT}^*$ .

#### Etapa 2

- Se obtiene  $n_{CC}^* = \hat{p}_V n_{CC+OF}^*$  y se asigna la probabilidad de que el origen del NO<sub>x</sub> esté en la Central Térmica o el Ciclo Combinado a partir de  $\hat{p}_{CT}^n = \text{Mediana}(\frac{n_{CT}^*}{n})$  y  $\hat{p}_{CC}^n = \text{Mediana}(\frac{n_{CC}^*}{n})$ , respectivamente.

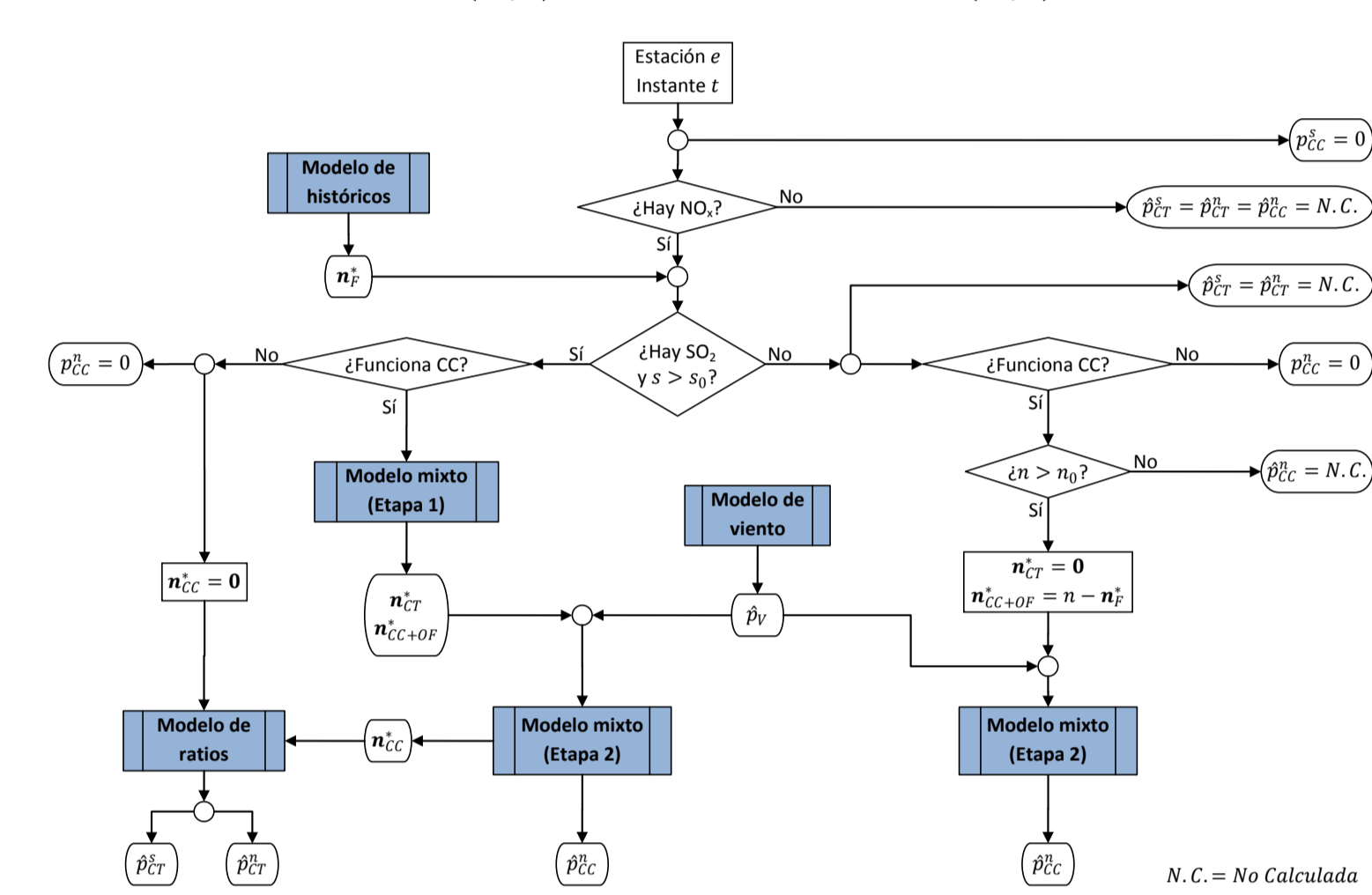


Figura 4: Esquema de los nuevos modelos de clasificación.

## 3. APLICACIÓN A DATOS REALES

Este ejemplo correspondiente a las 10:00 horas del día 30 de marzo de 2009, instante en el que había una alarma para NO<sub>x</sub> en la estación G5, es muy ilustrativo dado que durante los instantes previos habían estado soplando vientos suaves procedentes del este, con variaciones tanto nordeste como sureste, lo que permite disponer de diferentes niveles de incidencia sobre las estaciones.

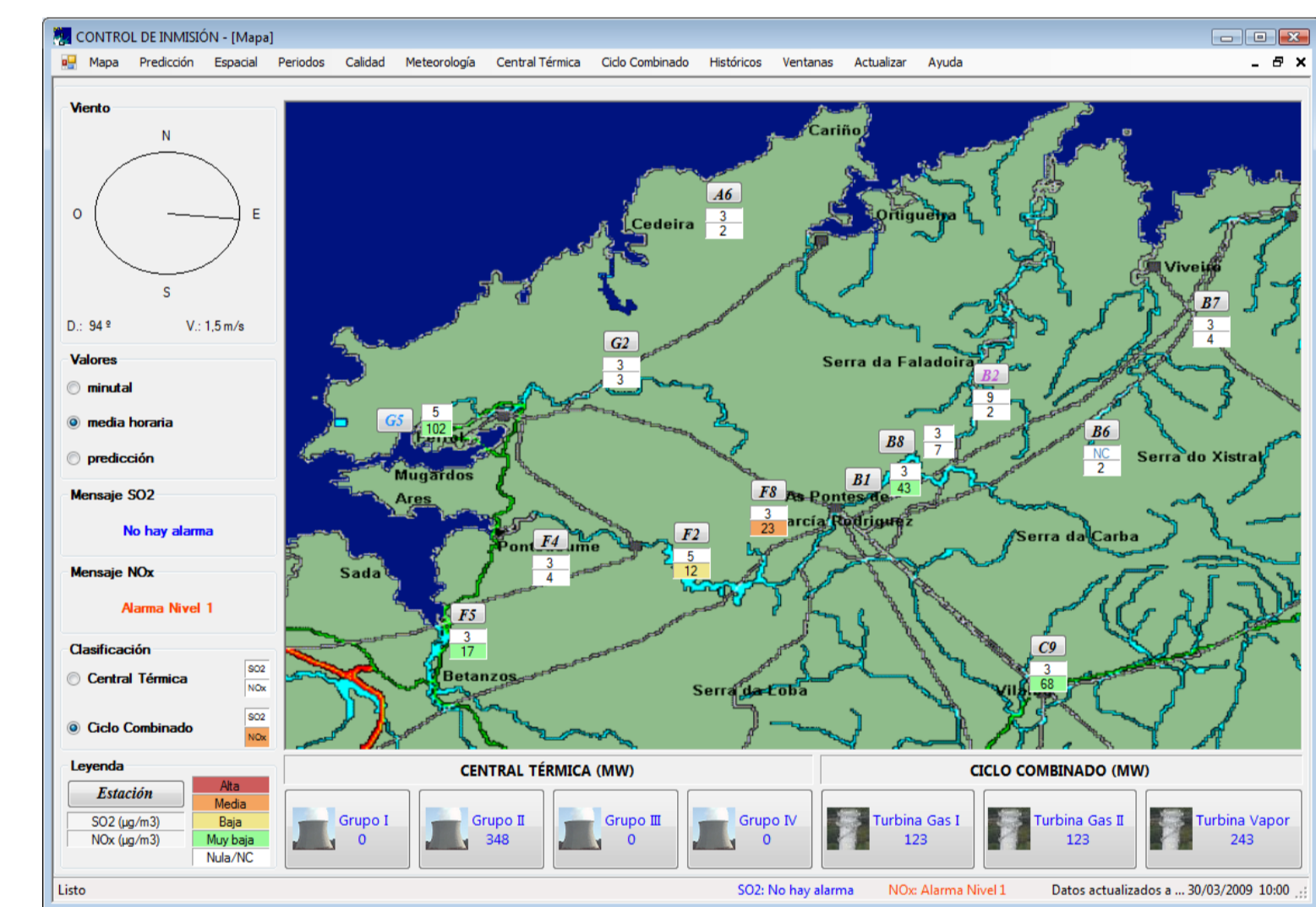


Figura 5: Pantalla de visualización con los resultados de los nuevos modelos de clasificación (probabilidad según los niveles de la escala de colores).

Los resultados obtenidos parecen ajustarse 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 NO<sub>x</sub> 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, 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 SO<sub>2</sub>, también algo de la Central Térmica.

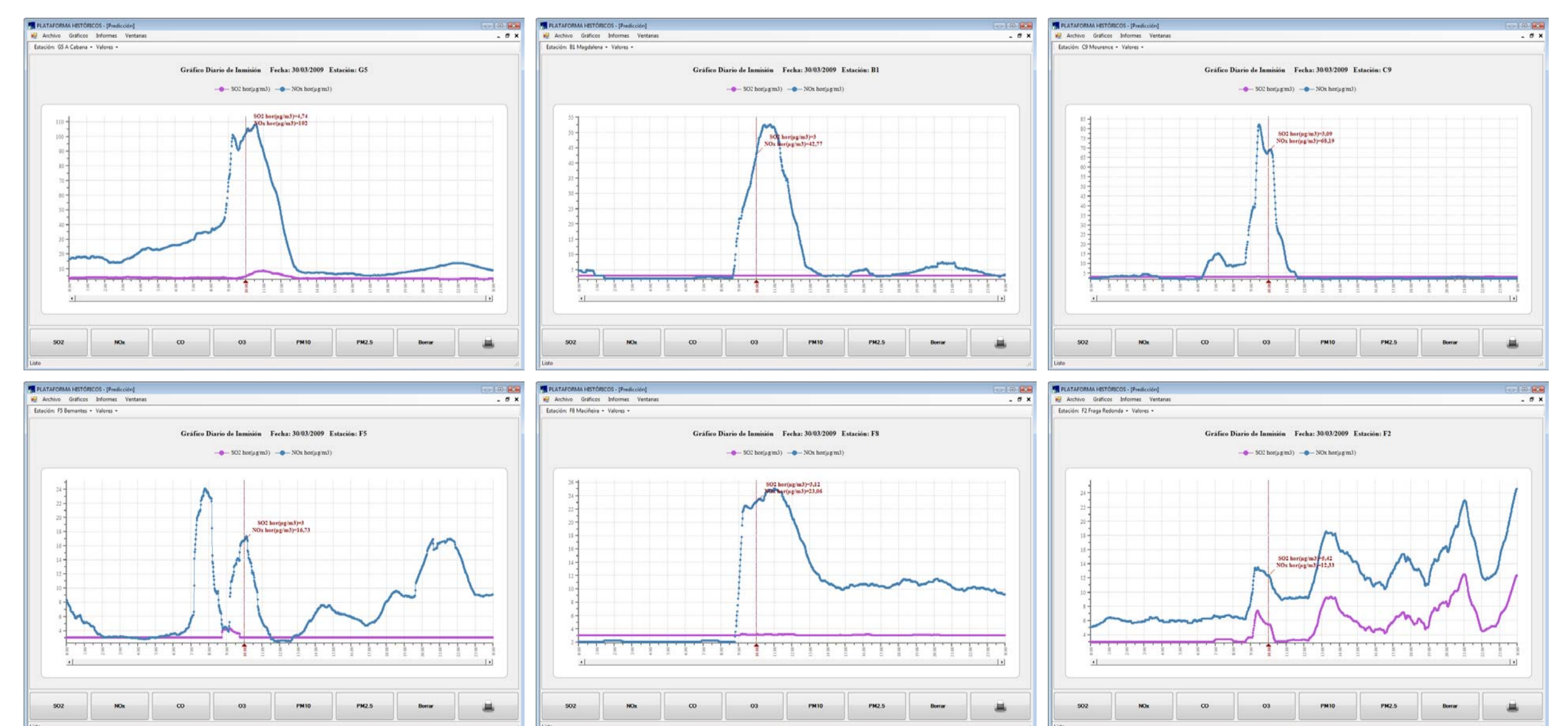


Figura 6: Evolución del SO<sub>2</sub> (rosa) y NO<sub>x</sub> (azul) en las estaciones G5, B1, C9, F5, F8 y F2 (de izquierda a derecha y de arriba abajo).

## REFERENCIAS

- Efron, B. & Tibshirani, R.J. (1993). An introduction to the bootstrap. Chapman & Hall.
- Mardia, Kanti V. & Jupp, Peter E. (2000). Directional Statistics. John Wiley & Sons Ltd.
- Silverman, B.W. (1986). Density Estimation for Statistics and Data Analysis. Chapman & Hall.
- Wand, M.P. & Jones, M.C. (1995). Kernel Smoothing. Chapman & Hall.