

Identificación y modelización de tendencias en emisiones contaminantes*

ETSII UPM

Beatriz García García,
Camino González Fernández
y José Mira McWilliams
E.T.S. Ingenieros Industriales
Universidad Politécnica de Madrid

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el análisis de tendencias para emisiones contaminantes en España y número de horas o días en que los que se superan los umbrales de concentración permitidos por la ley (Directiva 1999/30/CE y Real Decreto 1073/2002) en España, Francia y Portugal.

El análisis de tendencias es un área de gran relevancia en la actualidad y existen diferentes herramientas y enfoques para abordarlo. El tipo concreto de datos (reales o enteros) de que trate, además del conocimiento físico-químico del problema, será también relevante a la hora de optar por una u otra alternativa.

En este trabajo se han utilizado dos herramientas: el análisis de tendencias estocásticas basado en series temporales para las emisiones contaminantes, y el basado en un modelo jerárquico bayesiano de procesos no homogéneos de Poisson unido a gráficos EWMA para las ocasiones (horas o días) en los que se superan los límites establecidos.

Las especies químicas contaminantes que serán objeto de este análisis son: SO₂, NO_x, PM₁₀, PAHs, dioxinas y VOCs y el periodo estudiado será el comprendido entre 1995 y 2008; las predicciones realizadas con ayuda de los modelos ajustados para cada tipo de datos llegarán al año 2020.

Las bases de datos utilizadas para este trabajo son las siguientes: EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme), disponible en la página web www.emep.int, que ofrece gran cantidad de datos sobre emisiones y concentraciones en los países de la Convención de Transmisión a Larga Distancia de Contaminantes Atmosféricos; estaciones españolas; agregación que se ha realizado; comparativa con Francia y Portugal.

CONCLUSIONES:

▪ **Emisiones contaminantes:** Resulta de especial interés el análisis de evolución de la anchura de las bandas de predicción hasta el horizonte 2020. Se observa que esta anchura es mayor cuanto más errático haya sido el comportamiento de la tendencia.

▪ **Número de horas o días de superación del umbral:** El análisis de las estaciones de medición españolas ha permitido la identificación de una estación como atípica con respecto al comportamiento del conjunto. El análisis conjunto de las estaciones de los tres países revela que mientras España presenta valores similares a la tendencia común, Portugal se encuentra muy por encima de ésta, sobrepasando además los límites establecidos por la normativa. Francia, por su parte, se encuentra muy por debajo tanto de la tendencia común como del límite legal.

ANÁLISIS ESTOCÁSTICO DE TENDENCIAS: SERIES TEMPORALES

Las series temporales permiten tratar datos de muy diferente naturaleza, entre los que se encuentra la concentración en la atmósfera de un determinado agente contaminante.

Los datos de que se dispone están tomados a intervalos regulares y se desea aprovechar la posible inercia de los mismos para prever su evolución futura. Como la información disponible es únicamente la aportada por la serie histórica de los datos, el análisis estará englobado dentro de los análisis univariantes.

El modelo matemático para una serie temporal es el **proceso estocástico**. Para el modelo estocástico cada concentración de un contaminante en la atmósfera es considerada un suceso aleatorio que tiene una cierta probabilidad de ocurrir. De este modo, para unas mismas condiciones iniciales hay varias trayectorias posibles y puede llegarse a distintos estados finales.

Se supondrá que el valor observado de la serie en un instante determinado, t , es una extracción al azar de una variable aleatoria definida en ese instante. De este modo, cada observación de una serie de n datos es un punto extraído al azar de una variable aleatoria que se define para cada instante, es decir, para una serie de n datos, existen n variables aleatorias z_t . Al conjunto de estas n variables $z_1, z_2, \dots, z_t, \dots, z_n$, es a lo que se denomina proceso estocástico. La serie concreta observada es una realización o trayectoria del proceso.

Para cada serie de datos (NO_x, SO₂, dioxinas, compuestos orgánicos volátiles e hidrocarburos aromáticos policíclicos) se ajusta un modelo ARIMA (AutoRegresive Integrated Moving Average), que permite obtener una predicción de los niveles de concentración en la atmósfera de las citadas especies contaminantes (en este trabajo, hasta el horizonte 2020).

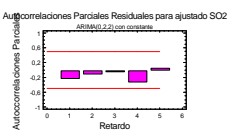
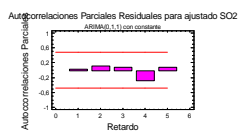
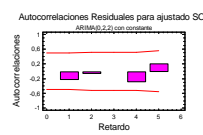
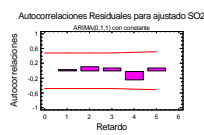
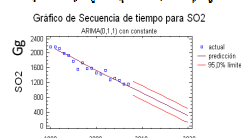
Se han identificado los modelos ARIMA correspondientes a cada serie de datos de los contaminantes estudiados con ayuda del software TRAMO-SEATS, (Caporello y Maravall (2004)).

CONTAMINANTE	MODELO ARIMA	ECUACIÓN DEL MODELO
SO ₂	(0,1,1)	$(1-B)\tilde{X}_t = (1-0,9372B)a_t$
NO _x	(0,1,1)	$(1-B)\tilde{X}_t = (1-0,3092B)a_t$
VOCs	(0,1,0)	$(1-B)\tilde{X}_t = a_t$
DIOXINAS	(0,1,1)	$(1-B)\tilde{X}_t = (1-0,9334B)a_t$
PAHs	(0,1,1)	$(1-B)\tilde{X}_t = (1-0,3249B)a_t$

RESULTADOS

Aquí se presentan los resultados correspondientes a los datos de emisiones de SO₂. Se presentan dos modelos posibles, puesto que por el bajo número de datos disponible no es posible asegurar cuál es el modelo definitivo. Los modelos que compiten en este caso son el ARIMA(0,1,1) y el (0,2,2). Los gráficos de autocorrelaciones residuales y autocorrelaciones parciales residuales permiten comprobar que el modelo ajustado para la serie de datos es adecuado (en este caso ambos lo son).

$$(1-B)\tilde{X}_t = (1-0,94B)a_t \quad (1-B)\tilde{X}_t = (1-1,81B+0,83B^2)a_t$$



MODELOS JERÁRQUICOS BAYESIANOS DE PROCESOS NO HOMOGÉNEOS DE POISSON

La normativa europea establece determinados valores límite de concentración en la atmósfera y el número de ocasiones que está permitido superar dichos límites cada año. Las especies contaminantes sujetas a esta normativa (recogida en el Real Decreto 1073/2002) son el SO₂, NO₂ y el material particulado PM₁₀.

ESPECIE CONTAMINANTE	LÍMITE DE CONCENTRACIÓN (µg/m³)	LÍMITE DE SUPERACIONES (por año civil)
SO ₂	350	24 horas
NO ₂	200	18 horas
PM ₁₀	50	35 días

En este trabajo se utilizan los modelos bayesianos jerárquicos (Hierarchical Bayes: HB) combinados con gráficos EWMA para evaluar la tendencia de la tasa de superación de dichos límites para las diferentes especies contaminantes.

Se estudian los datos disponibles de España, Francia y Portugal. Se han elegido Francia y Portugal para poder comparar los datos españoles con países vecinos, ya que los contaminantes citados constituyen un problema transfronterizo.

Se estudian dos problemas diferentes: por un lado se hace un estudio de cada país con los datos independientes recogidos en cada una de sus estaciones de medida, y por otro, un estudio conjunto de los 3 países con los datos promediados de cada uno de ellos.

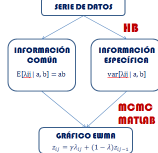
La metodología a seguir es la siguiente: se estima una tasa de ocurrencia λ_{ij} para cada estación/país y año j . Se utiliza el siguiente modelo jerárquico:

Sean N países/estaciones y M años, y T_{ij} , $i = 1, \dots, N$, $j = 1, \dots, M$, el número de sucesos (e.g. ocasiones en las que se han superado los límites de concentraciones) observados durante los tiempos respectivos T_{ij} , $i = 1, \dots, N$, $j = 1, \dots, M$.

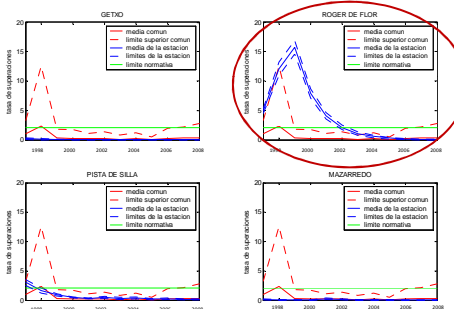
Entonces $X_{ij} \sim \text{Poisson}(\lambda_{ij} T_{ij})$. Los parámetros λ_{ij} se supone que son realizaciones de una distribución a priori gamma común: $\lambda_{ij} \sim \text{Ga}(a, b)$.

Los parámetros a, b a su vez siguen la siguiente distribución a priori: $\pi(a, b) \propto e^{-b} e^{-a/b} e^{a/b} e^{b/a} e^{-1}$

Las series de datos serán tratadas con software propio desarrollado en MATLAB. El esquema simplificado a seguir es el siguiente



RESULTADOS



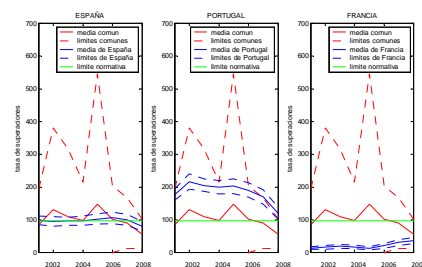
Aquí se presentan como ejemplo los gráficos EWMA obtenidos para los datos de España de NO₂ en 4 de las 8 estaciones de medida.

En este ejemplo se aprecia que la estación de medida **Roger de Flor** presenta valores de concentraciones de NO₂ que en los primeros años del intervalo estudiado se alejaron de la tendencia común.

$$\text{tasa límite} = \frac{18 \text{ horas}}{245 \cdot 24 \text{ horas}} \cdot 100 = 2,1$$

Estos gráficos corresponden a los resultados obtenidos para los datos de España, Portugal y Francia de material particulado PM₁₀.

$$\text{tasa límite} = \frac{35 \text{ días}}{365 \text{ días}} \cdot 100 = 9,5$$



REFERENCIAS

- Bansal, Ashok K. (2007). *Bayesian Parametric Inference*. Alpha Science.
EMEP: European Monitoring and Evaluation Programme. www.emep.int
Martz, Harry F., Parker, Robert L., Rasmuson, Dale M., *Estimation of trends in the cesar rate at nuclear power plants*, Technometrics, v:41 n.4, p.352-364, Nov. 1999
Mira, Amata (1998). *Fundamentals of Quality Control and Improvement*. Prentice Hall.
Peña Sánchez de Rivera, Daniel (1987). *Estadística. Modelos y Métodos. 3. Series Temporales*. Alianza Universidad Textos
TRAMO-SEATS: Caporello, G., Maravall, A., (2004). Banco de España.