



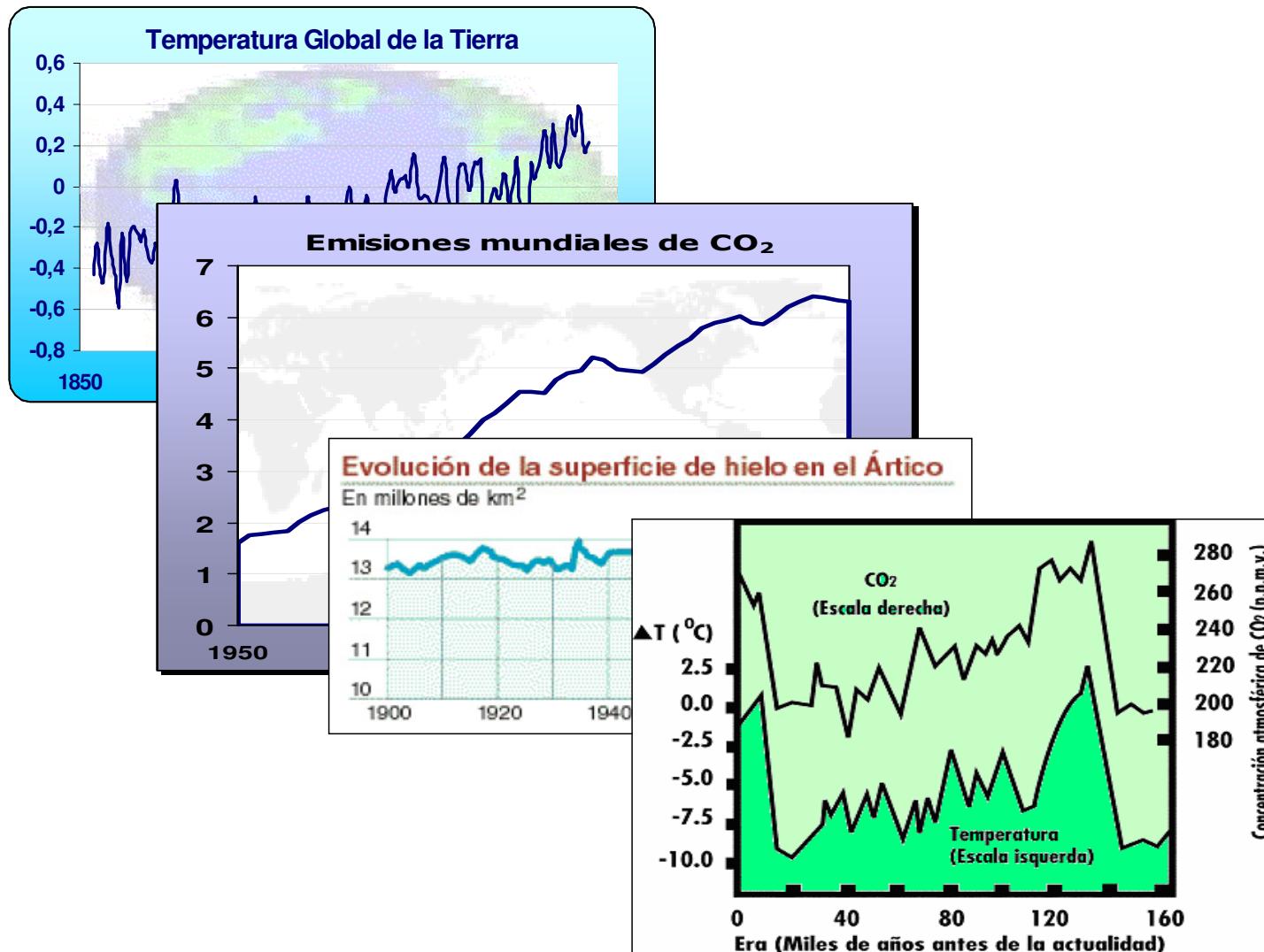
# Técnicas para el análisis de series temporales medioambientales

Andres M. Alonso

Departamento de Estadística  
Universidad Carlos III de Madrid

Castro Urdiales, 17 de diciembre de 2009

# Introducción



---

## Estructura de la presentación

1. Ejemplos de modelización de series temporales medioambientales.
2. Los tres problemas de predicción en series temporales.
3. Reducción de la dimensión en series temporales.
4. Otros procedimientos y aplicaciones a medioambiente.

---

## Ejemplos de modelización de series temporales medioambientales

Durbán, M. and Glasbey, C. (2001) "Weather Modelling Using a Multivariate Latent Gaussian Model", *Agricultural and Forest Meteorology*, **109**, 187–201.

Variables consideradas:

- Temperatura diaria máxima.
- Temperatura diaria mínima.
- Radiación solar.
- Humedad relativa.
- Velocidad media del viento.
- Precipitación diaria.

---

## Ejemplos de modelización de series temporales medioambientales

Modelos utilizados:

$$y_k(t) = \mathcal{N}(\mu_k(t), \sigma_k^2)$$

donde

$$\mu_k(t) = \beta_{k0} + \sum_j \beta_{kj} \cos\left(\frac{2\pi jt}{365} + \theta_{kj}\right)$$

Variable latente para la precipitación:

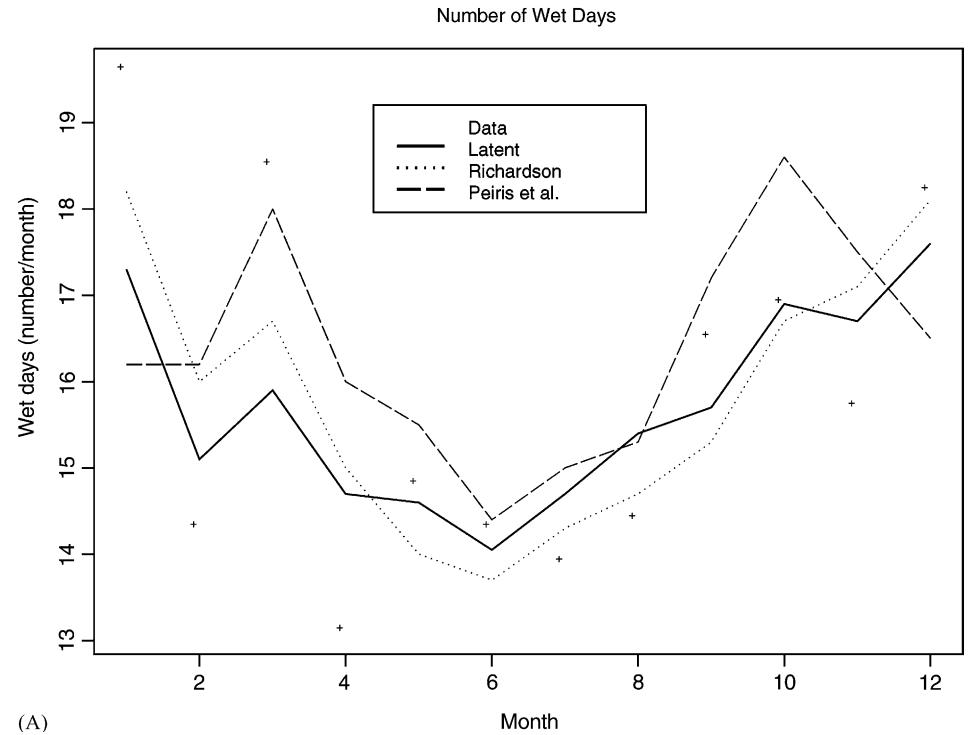
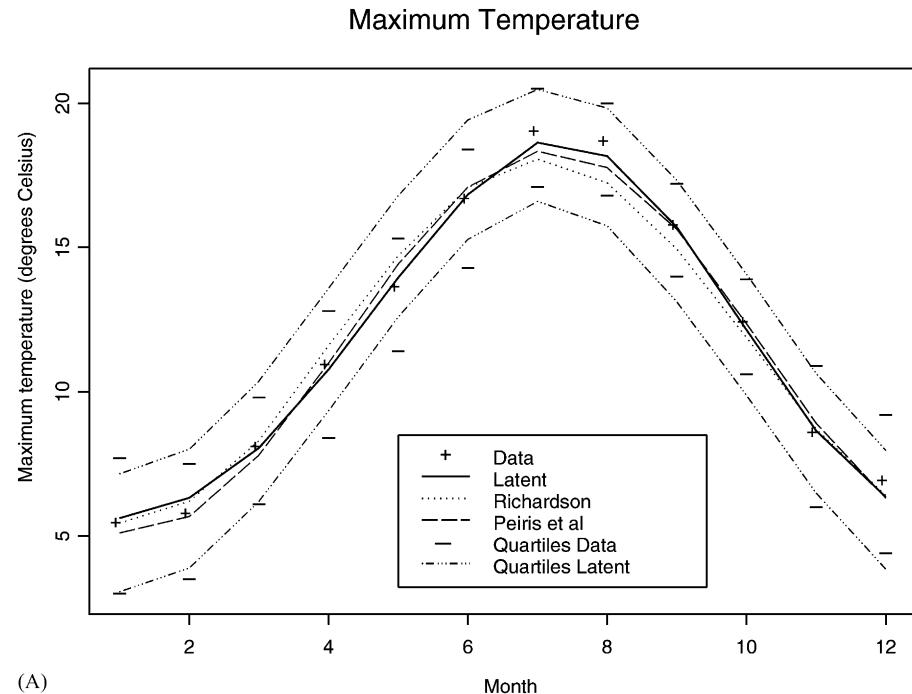
$$y_k(t) = \begin{cases} \alpha_0 + \alpha_1 r(t)^\gamma + \alpha_2 r(t)^{2\gamma} & \text{si } r(t) > 0 \\ * & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Variables escaladas:  $z_k(t) = \frac{y_k(t) - \mu_k(t)}{\sigma_k}$

Modelo VARMA(2,1) para  $z(t)$ :

$$z(t) = \mathbf{A}_1 z_{t-1} + \mathbf{A}_2 z_{t-2} + e_t - \mathbf{M}_1 e_{t-1}.$$

# Ejemplos de modelización de series temporales medioambientales



- Ajuste satisfactorio en las variables observadas.
- Ajuste satisfactorio en el número de días lluviosos y en la cantidad de lluvia acumulada.

---

## Ejemplos de modelización de series temporales medioambientales

M. Castellano-Méndez, W. González-Manteiga, M. Febrero-Bande, J.M. Prada-Sánchez y R. Lozano-Calderón (2004) “Modelling of the monthly and daily behaviour of the runoff of the Xallas river using Box-Jenkins and neural networks methods”, *Journal of Hydrology*, **296**, 38–58.

Variables consideradas:

- Precipitación diaria ( $l/m^2$ ).
- Desborde medio ( $m^3/s$ ).
- Mediciones disponibles en dos presas: Fervenza y Santa Eugenia.

---

## Ejemplos de modelización de series temporales medioambientales

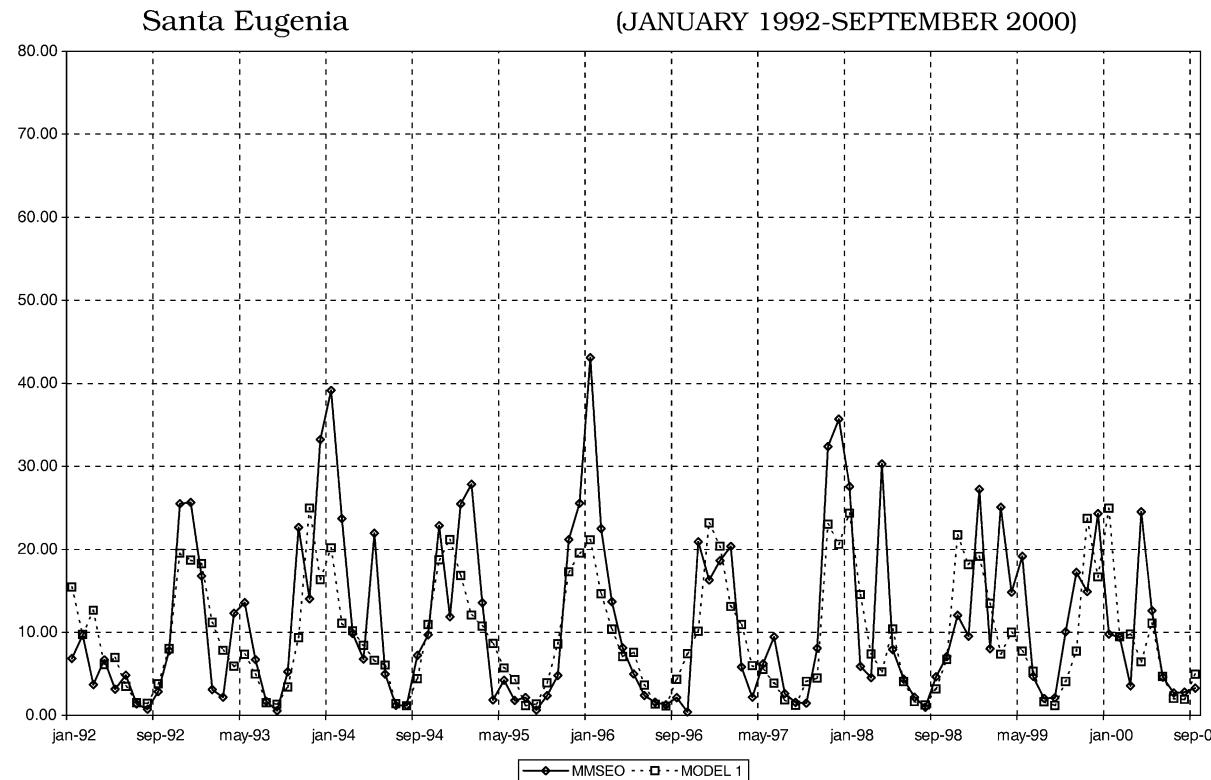
Modelos utilizados:

Modelo ARIMA( $a, b, c) \times (d, e, f)_{12}$  (aditivo) para variables mensuales:

$$\nabla_{12}^e \nabla^b Z_t = \sum_i^a a_i Z_{t-i} + \sum_i^c c_i \varepsilon_{t-i} + \sum_i^d d_i Z_{t-12i} + \sum_i^f f_i \varepsilon_{t-12i} + \varepsilon_t.$$

- Desborde medio mensual en Fervenza (logs): ARIMA(0, 0, 1)  $\times$  (0, 1, 1)<sub>12</sub>.
- Desborde medio mensual en S. Eugenia (logs): ARIMA(0, 0, 1)  $\times$  (1, 1, 1)<sub>12</sub>.
- Precipitación media en ambas presas: ARIMA(1, 0, 0)  $\times$  (1, 0, 0)<sub>12</sub>.
- Precipitación media en Puente Oliveira (logs & 0's): ARIMA(0, 0, 0)  $\times$  (1, 0, 1)<sub>12</sub>.

# Ejemplos de modelización de series temporales medioambientales



- Ajuste satisfactorio en las variables observadas.

---

## Ejemplos de modelización de series temporales medioambientales

R.B. Cleveland, W.S. Cleveland, J.E. McRae, and I. Terpenning (1990) "STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess", *Journal of Official Statistics*, **6**, 2–73.

Variables consideradas:

- Concentración diaria y mensual de dióxido de carbono (ppm).
- Número de hombres desempleados en USA.

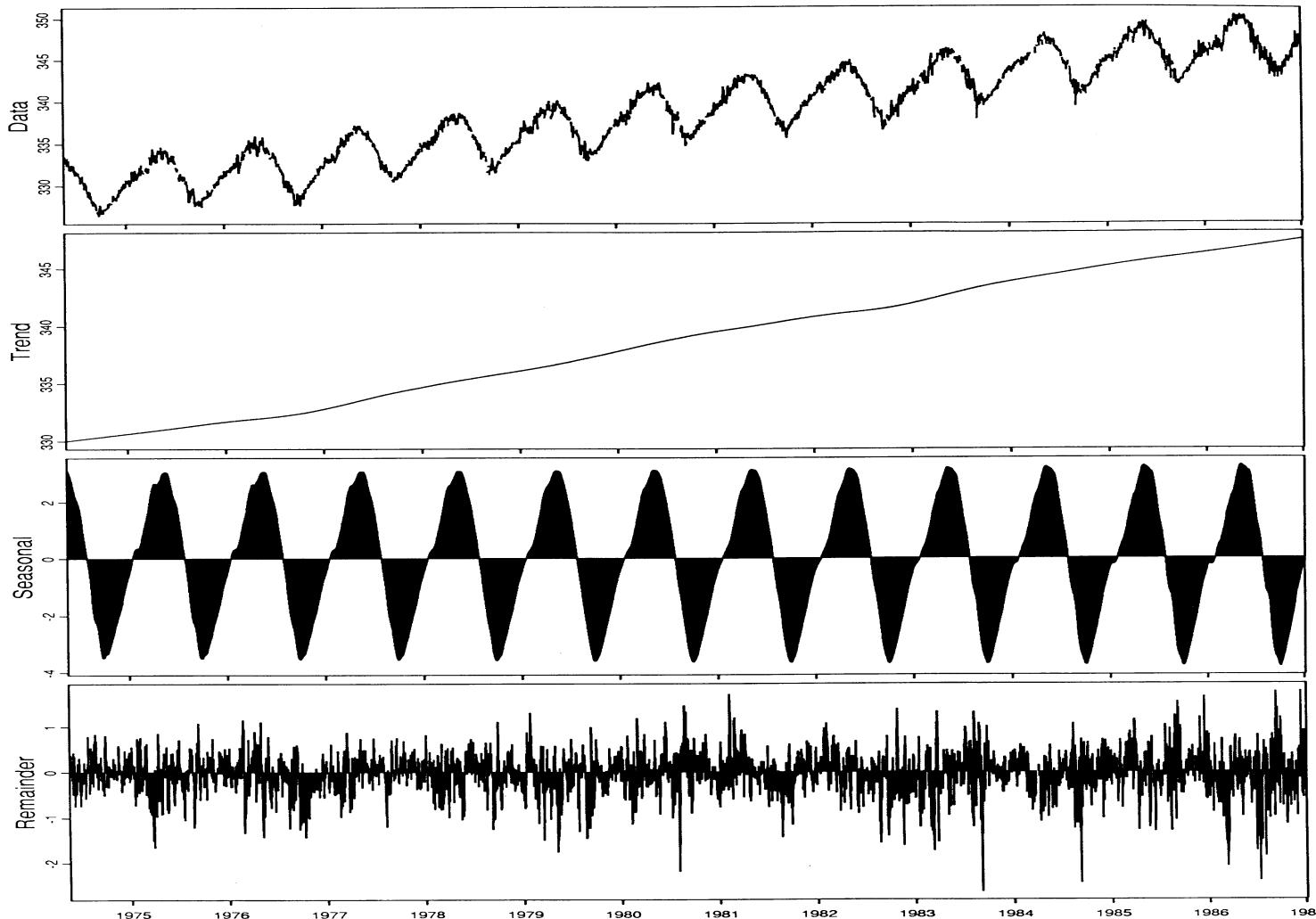
Modelos utilizados:

$$Y_v = T_v + S_v + R_v$$

- La tendencia,  $T_v$ , y la estacionalidad,  $S_v$ , se obtienen mediante un procedimiento recursivo que utiliza el suavizador *loess*.

---

## Ejemplos de modelización de series temporales medioambientales



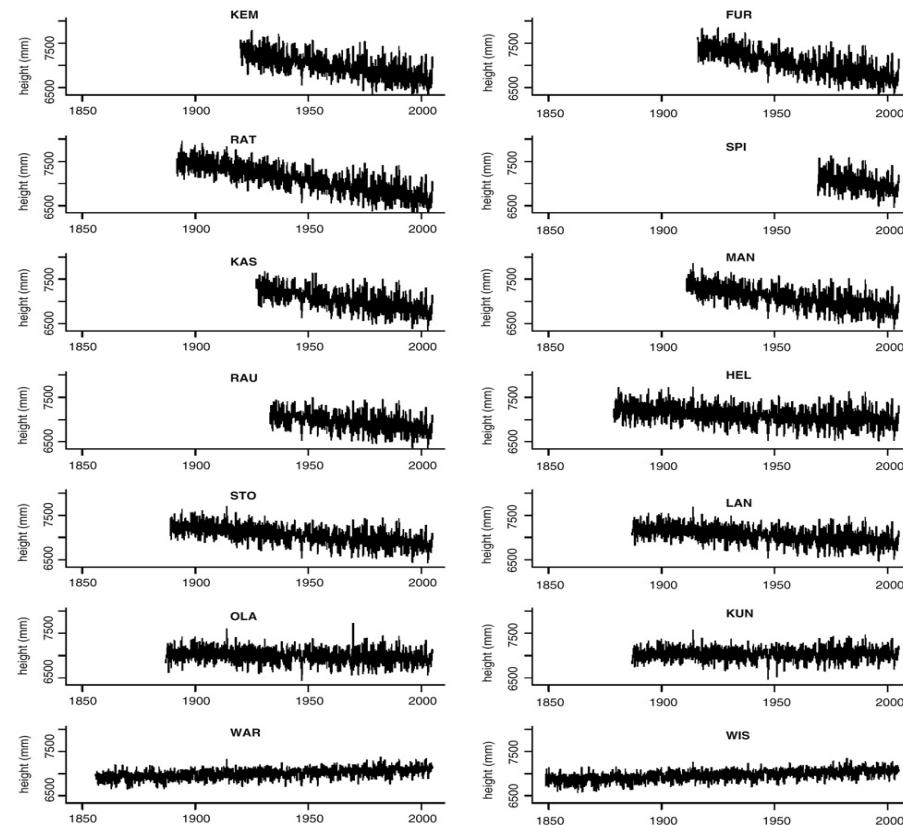
# Ejemplos de modelización de series temporales medioambientales

M. Scotto, S. Barbosa, and A.M. Alonso (2009) Model-based clustering of Baltic sea-level, *Applied Ocean Research*, **31**, 4–11.

Modelos utilizados:

$$Y_v = T_v + S_v + R_v$$

$R_v$  sigue un modelo AR( $p$ ).

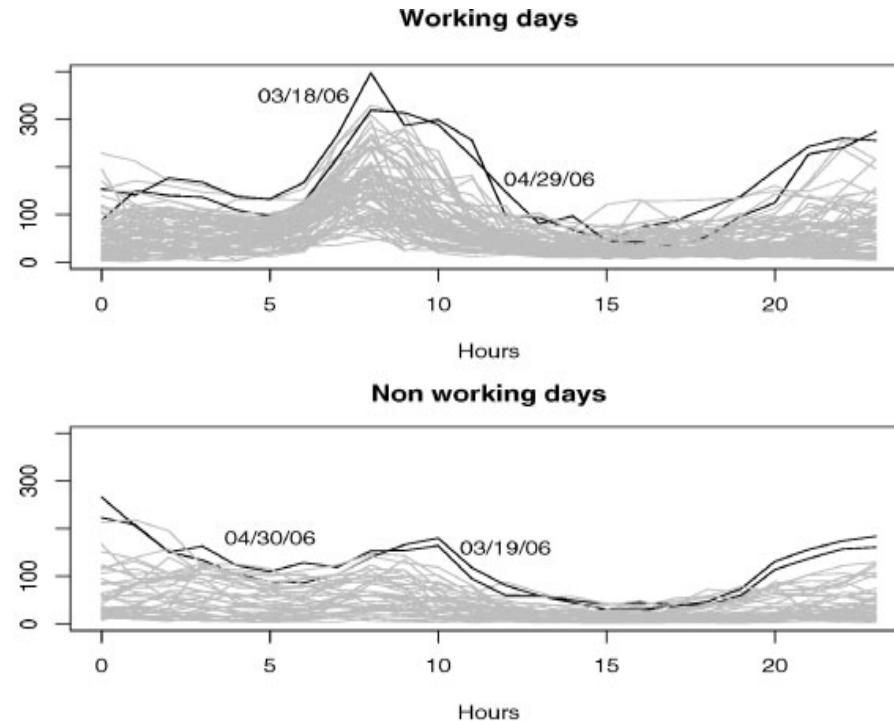


# Ejemplos de modelización de series temporales medioambientales

M. Febrero, P. Galeano, W. González-Manteiga (2008) "Outlier detection in functional data by depth measures, with application to identify abnormal NO<sub>x</sub> levels" *Environmetrics*, **19**, 331–345.

## Modelos utilizados:

- Series temporales como datos funcionales.
- *Parallel approach.*



---

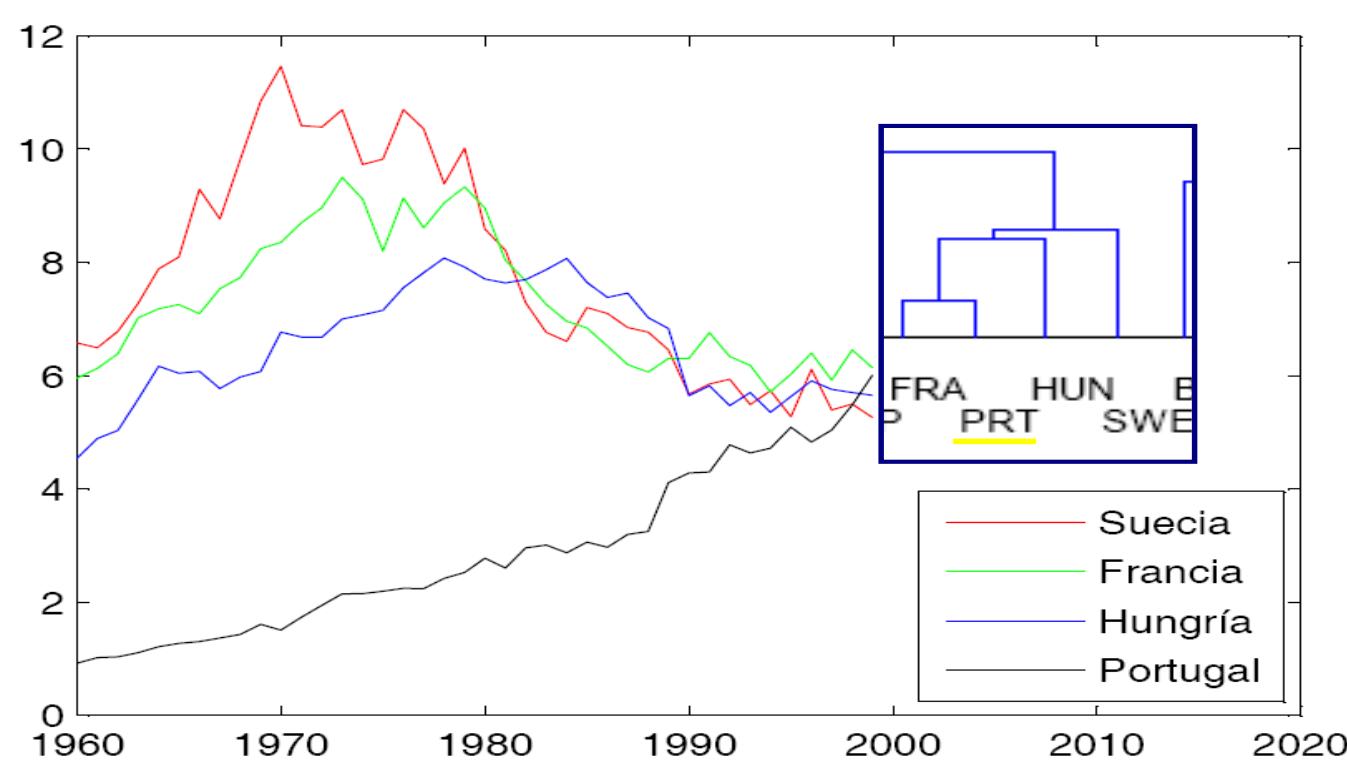
## Estructura de la presentación

1. Ejemplos de modelización de series temporales medioambientales. ✓
2. Los tres problemas de predicción en series temporales.
  - Predicción.
  - Interpolación.
  - Bechmarking.
3. Reducción de la dimensión en series temporales.
4. Otros procedimientos y aplicaciones a medioambiente.

# Los tres problemas de predicción en series temporales

## Predicción:

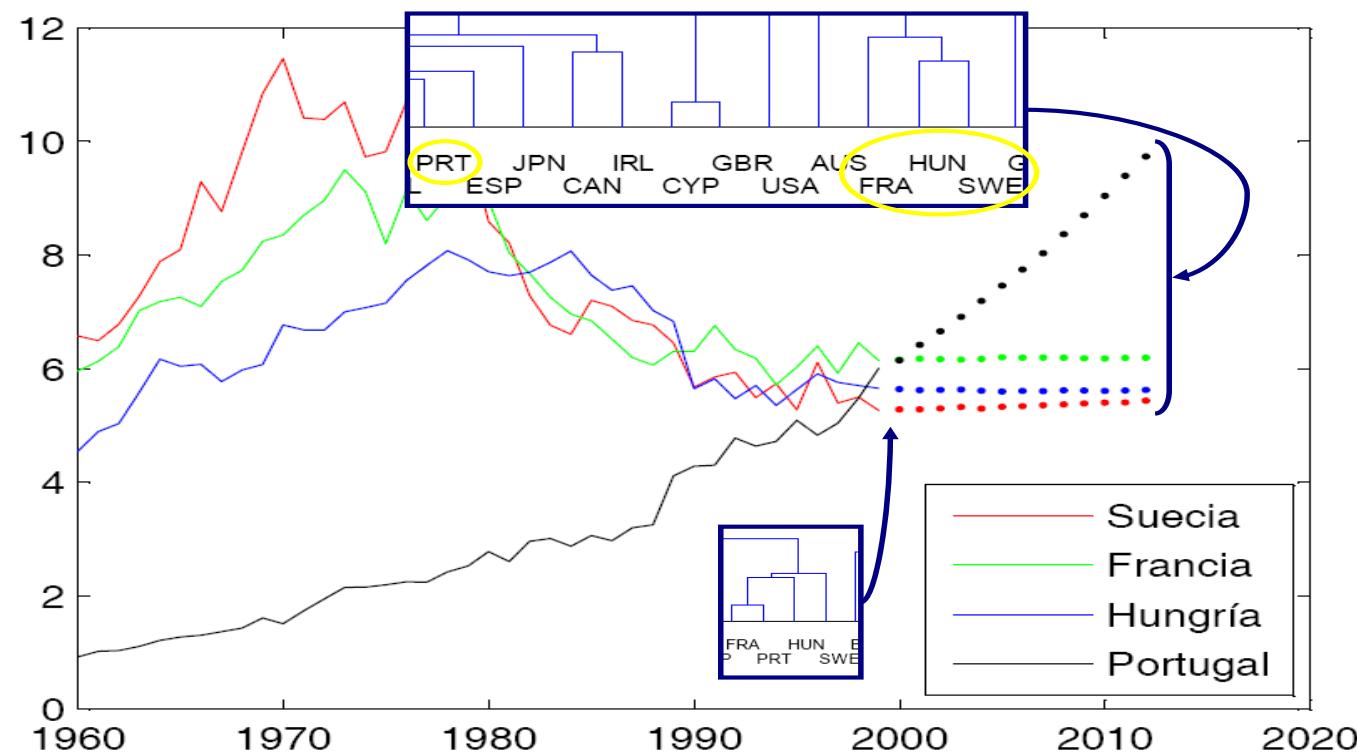
A.M. Alonso, J.R. Berrendero, A. Hernández, and A. Justel (2006) “Time series clustering based on forecast densities”, *Computational Statistics and Data Analysis*, **51**, 762–766.



# Los tres problemas de predicción en series temporales

## Predicción:

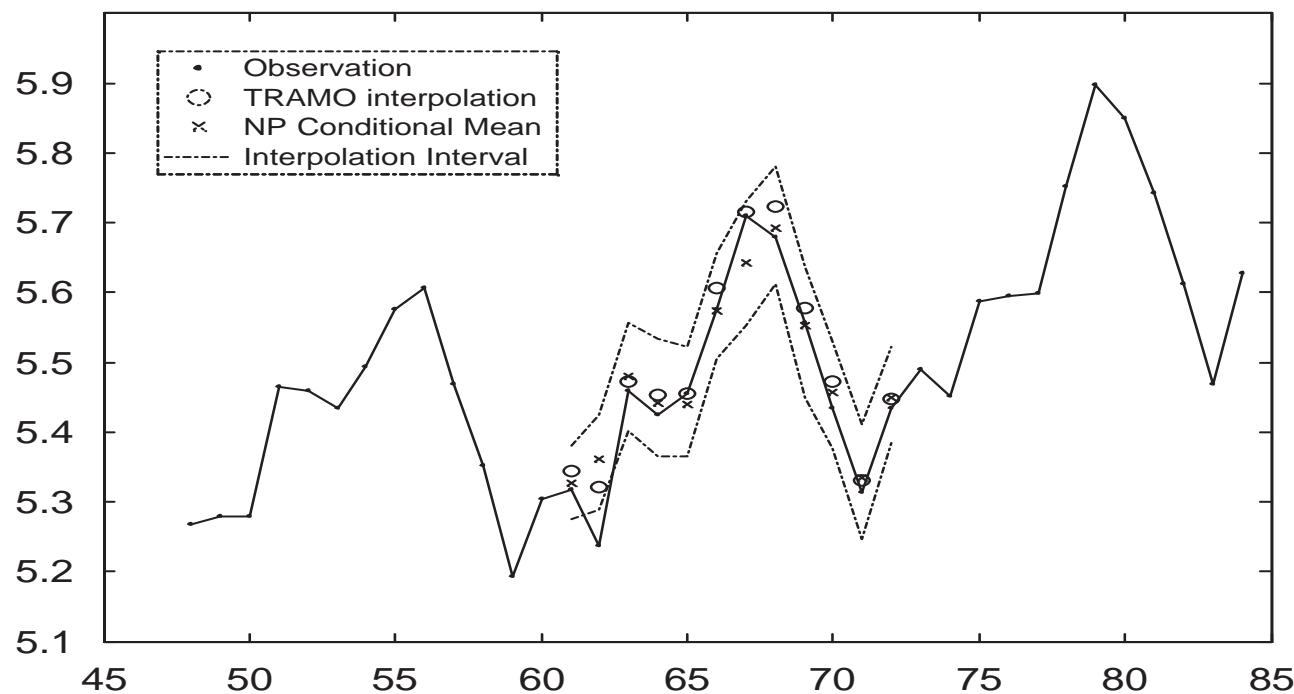
A.M. Alonso, J.R. Berrendero, A. Hernández, and A. Justel (2006) "Time series clustering based on forecast densities", *Computational Statistics and Data Analysis*, **51**, 762–766.



# Los tres problemas de predicción en series temporales

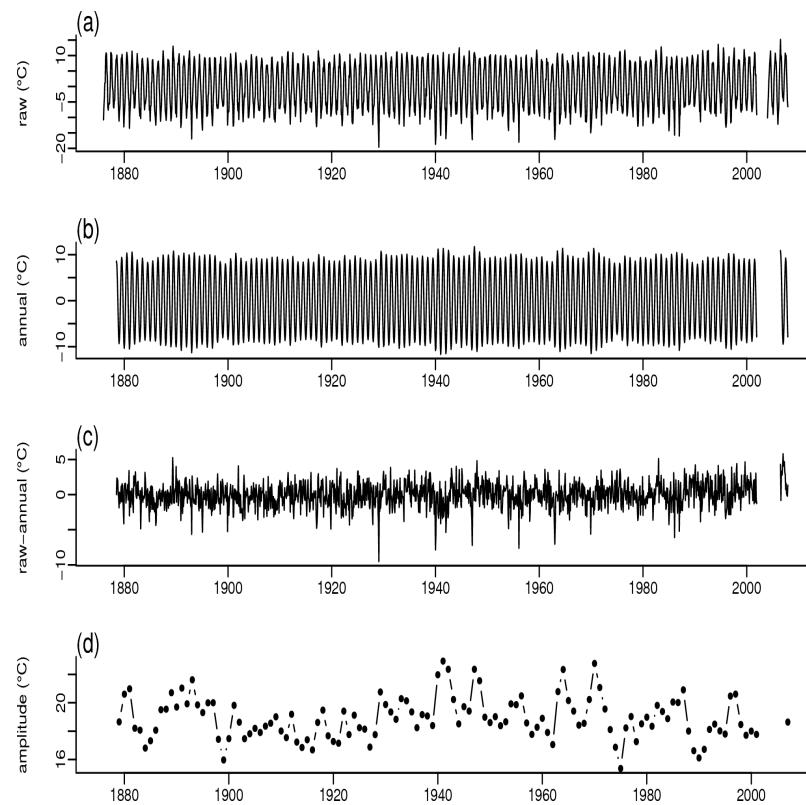
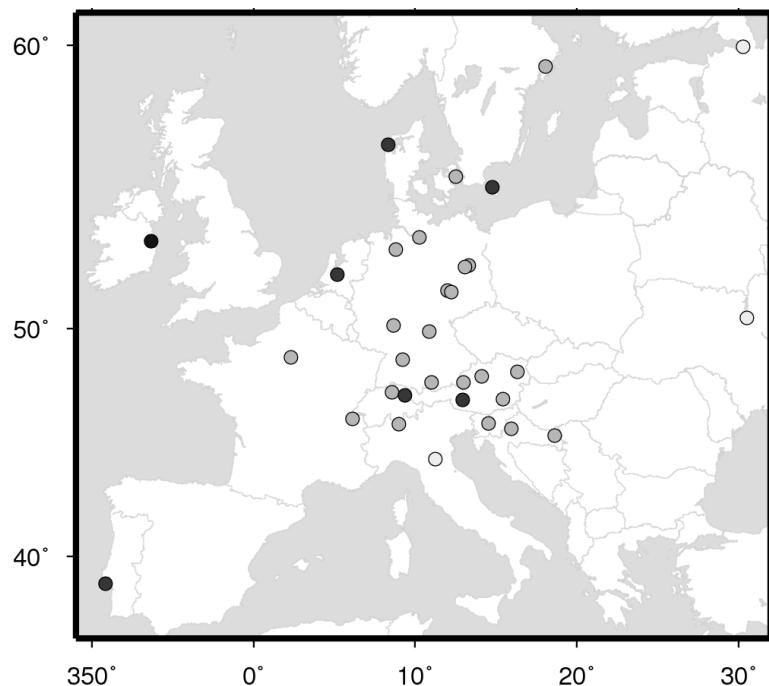
## Interpolación:

A.M. Alonso, and A.E. Sipols (2008) “A time series bootstrap procedure for interpolation intervals”, *Computational Statistics and Data Analysis*, **52**, 1792–1805.



# Los tres problemas de predicción en series temporales

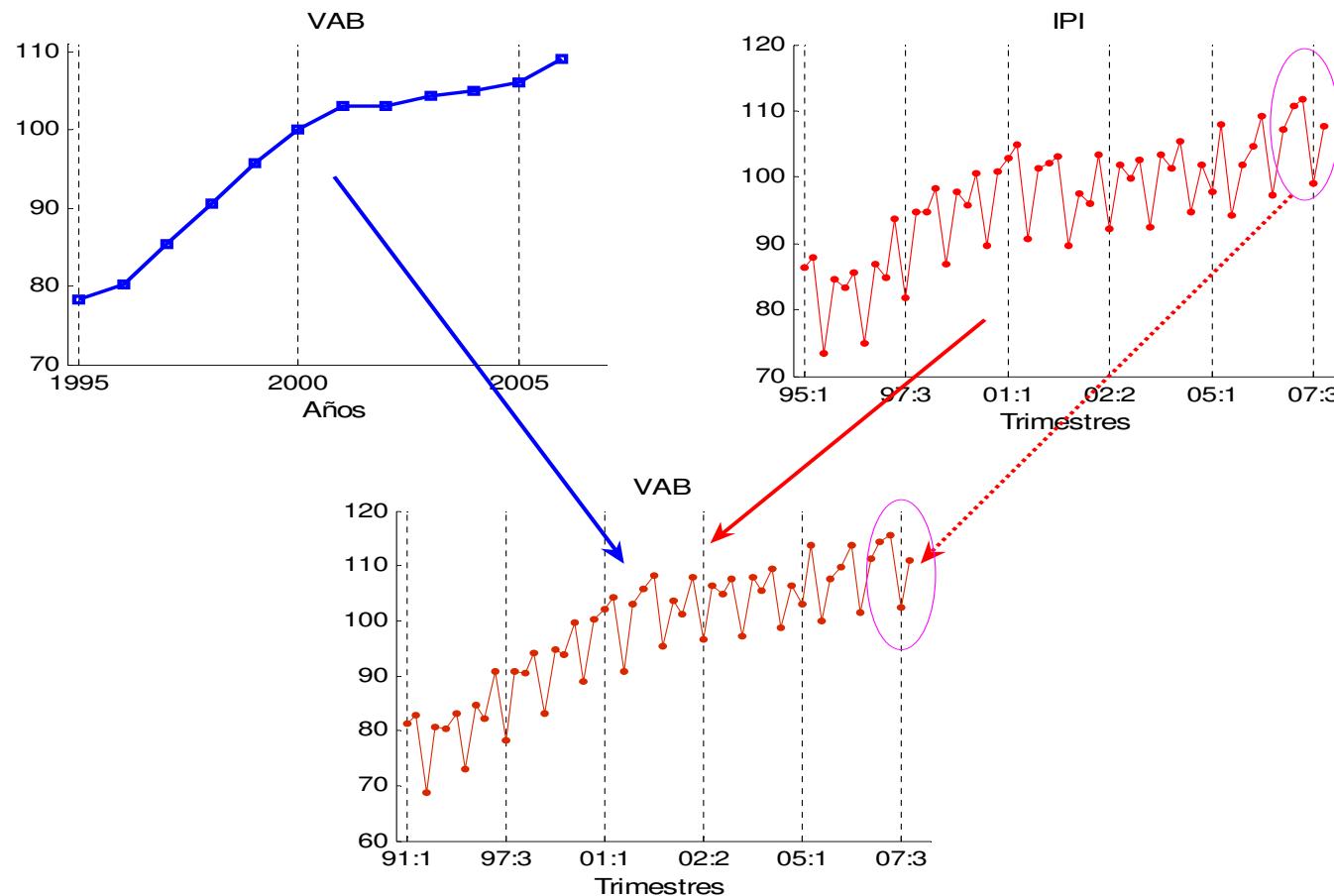
## Interpolación:



- Análisis de la temperatura media mensual.

# Los tres problemas de predicción en series temporales

## Benchmarking:



Tomado de: A. Cuevas y E.M. Quilis “Chain-linking, benchmarking y ajuste estacional”.

---

## Estructura de la presentación

1. Ejemplos de modelización de series temporales medioambientales. ✓
2. Los tres problemas de predicción en series temporales. ✓
3. Reducción de la dimensión en series temporales.
  - Modelo factorial dinámico.
  - Reducción mediante predicciones.
4. Otros procedimientos y aplicaciones a medioambiente.

---

## Reducción de la dimensión en series temporales

**Modelo factorial dinámico:**

$$\mathbf{y}_t = \boldsymbol{\Omega} \mathbf{f}_t + \boldsymbol{\varepsilon}_t,$$

- $\mathbf{y}_t$  es un vector  $m$ -dimensional de observaciones. Por ejemplo, temperaturas en  $m$  estaciones.
- $\mathbf{f}_t$  es un vector  $r$ -dimensional, con  $r < m$ , que denominamos **factores comunes**.
- $\boldsymbol{\varepsilon}_t$  es un vector  $m$ -dimensional, que denominamos **factores específicos**.

Suponemos que  $\mathbf{f}_t$  sigue un VARIMA model  $(p, d, q) \times (P, D, Q)_s$ :

$$(1 - B)^d (1 - B^s)^D \phi(B) \boldsymbol{\Phi}(B^s) \mathbf{f}_t = \mathbf{c} + \theta(B) \boldsymbol{\Theta}(B^s) \mathbf{w}_t.$$

---

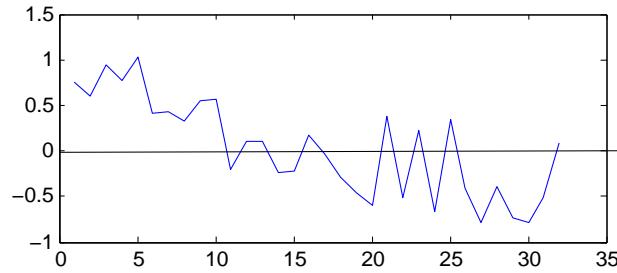
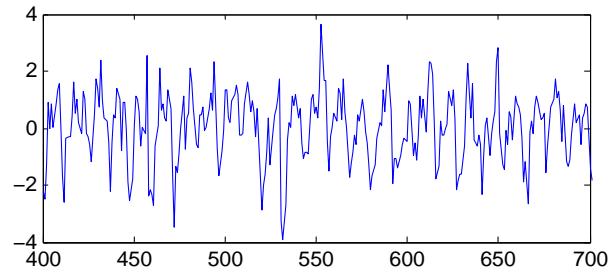
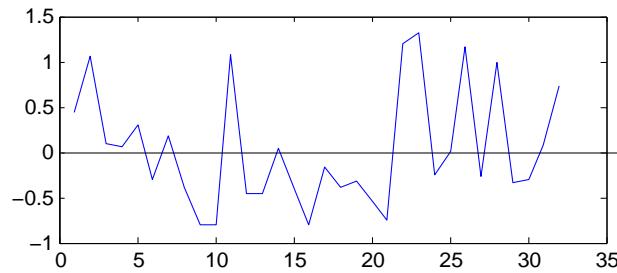
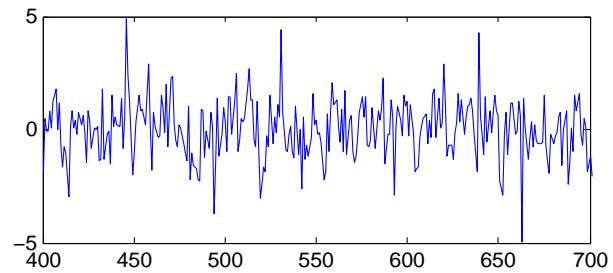
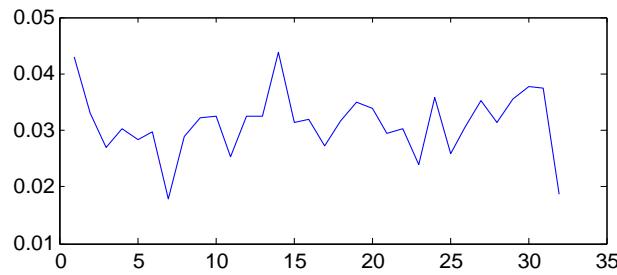
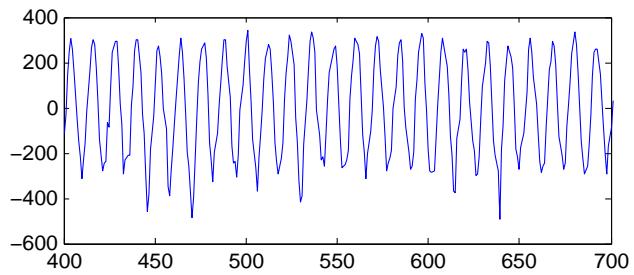
## Reducción de la dimensión en series temporales

### Modelo factorial dinámico - Aplicaciones:

- A.M. Alonso, C. García-Martos, J. Rodríguez, and M.J. Sánchez (2007) Predicción del consumo de agua mediante la obtención de factores comunes inobservados.
- A.M. Alonso, C. García-Martos, J. Rodríguez, and M.J. Sánchez (2008) Seasonal dynamic factor analysis and bootstrap inference: Application to electricity market forecasting.
- A.M. Alonso, D. Peña, and J. Rodríguez (2008) A methodology for population projections: An application to Spain.
- A.M. Alonso (2008) Predicción de tablas de mortalidad dinámicas mediante un procedimiento bootstrap, Editorial MAPFRE, Madrid.
- ▶ En progreso: Análisis de la temperatura media mensual.

# Reducción de la dimensión en series temporales

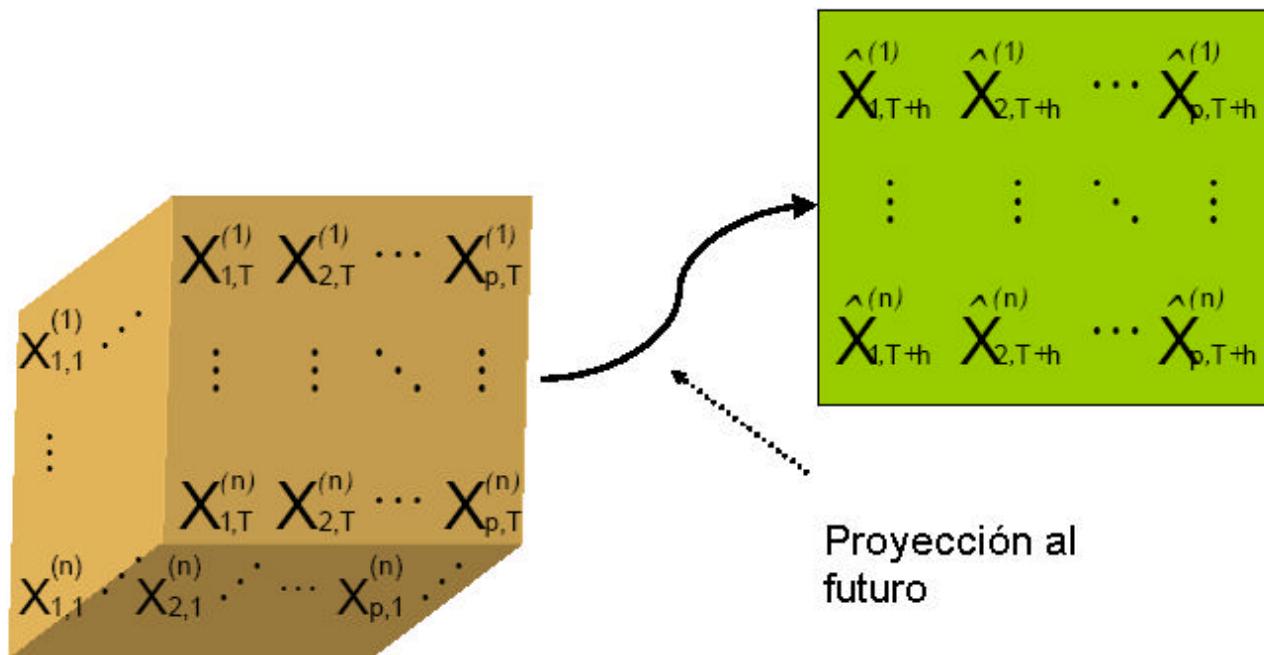
## Modelo factorial dinámico - Aplicaciones:



# Reducción de la dimensión en series temporales

## Reducción mediante predicciones:

A.M. Alonso, J.R. Berrendero, A. Hernández, and A. Justel (2006) “Time series clustering based on forecast densities”, *Computational Statistics and Data Analysis*, **51**, 762–766.



---

## Estructura de la presentación

1. Ejemplos de modelización de series temporales medioambientales. ✓
2. Los tres problemas de predicción en series temporales. ✓
3. Reducción de la dimensión en series temporales. ✓
4. Otros procedimientos y aplicaciones a medioambiente.
  - Comparación de series temporales.
  - Clasificación de series temporales.
  - Análisis discriminante de series temporales.
  - Análisis espectral.

---

## Otros procedimientos y aplicaciones a medioambiente

### Comparación de series temporales:

A.M. Alonso and Maharaj, E.A. (2006) Comparison of time series using subsampling, *Computational Statistics and Data Analysis*, **50**, 2589–2599.

Estamos interesados en el siguiente contraste:  $\begin{cases} H_0 : P_X = P_Y \\ H_1 : P_X \neq P_Y \end{cases}$ .

- Comparación de modelos generadores (AR ó ARMA):

$$\begin{cases} H_0 : \phi_X = (\phi_{X,1}, \phi_{X,2}, \dots, \phi_{X,p})' = \phi_Y = (\phi_{Y,1}, \phi_{Y,2}, \dots, \phi_{Y,p})' \\ H_1 : \phi_X = (\phi_{X,1}, \phi_{X,2}, \dots, \phi_{X,p})' \neq \phi_Y = (\phi_{Y,1}, \phi_{Y,2}, \dots, \phi_{Y,p})' \end{cases}.$$

- Comparación de densidades espectrales:

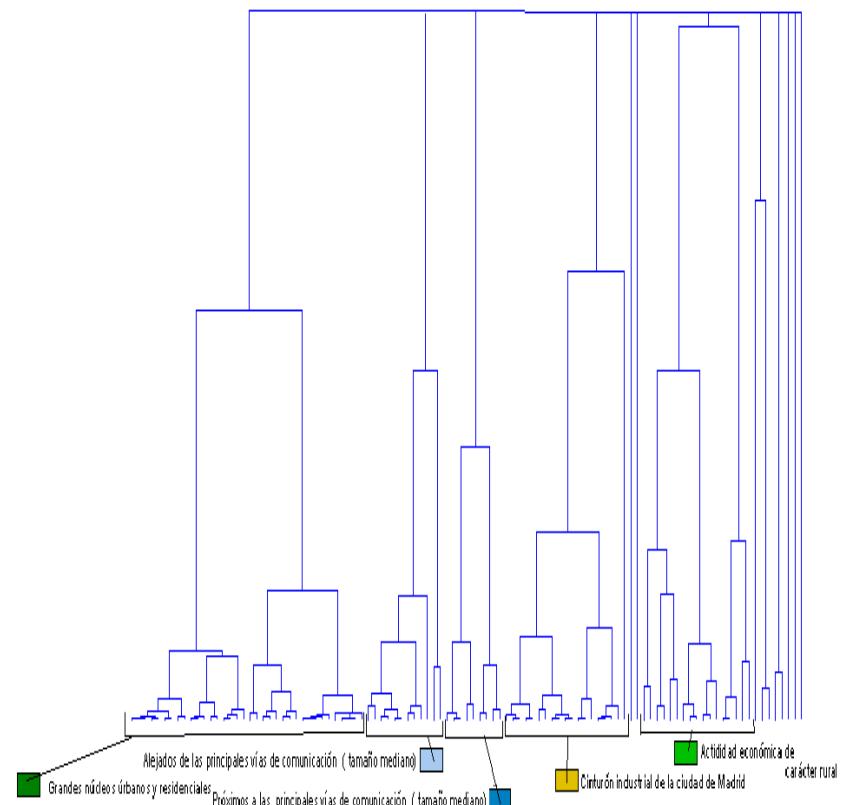
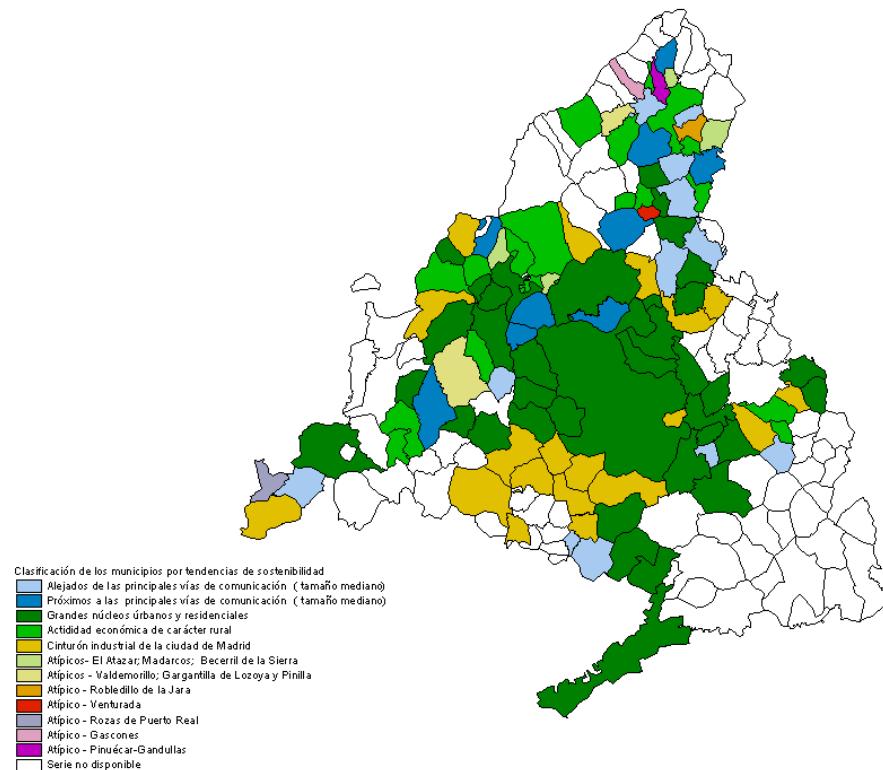
$$\begin{cases} H_0 : \lambda_X(\omega) = \lambda_Y(\omega) \quad (0 \leq \omega \leq \pi) \\ H_1 : \lambda_X(\omega) \neq \lambda_Y(\omega) \end{cases}.$$

# Otros procedimientos y aplicaciones a medioambiente

## Clasificación de series temporales:

A.M. Alonso, J.R. Berrendero, A. Hernández, and A. Justel (2006) "Time series clustering based on forecast densities", *Computational Statistics and Data Analysis*, **51**, 762–766.

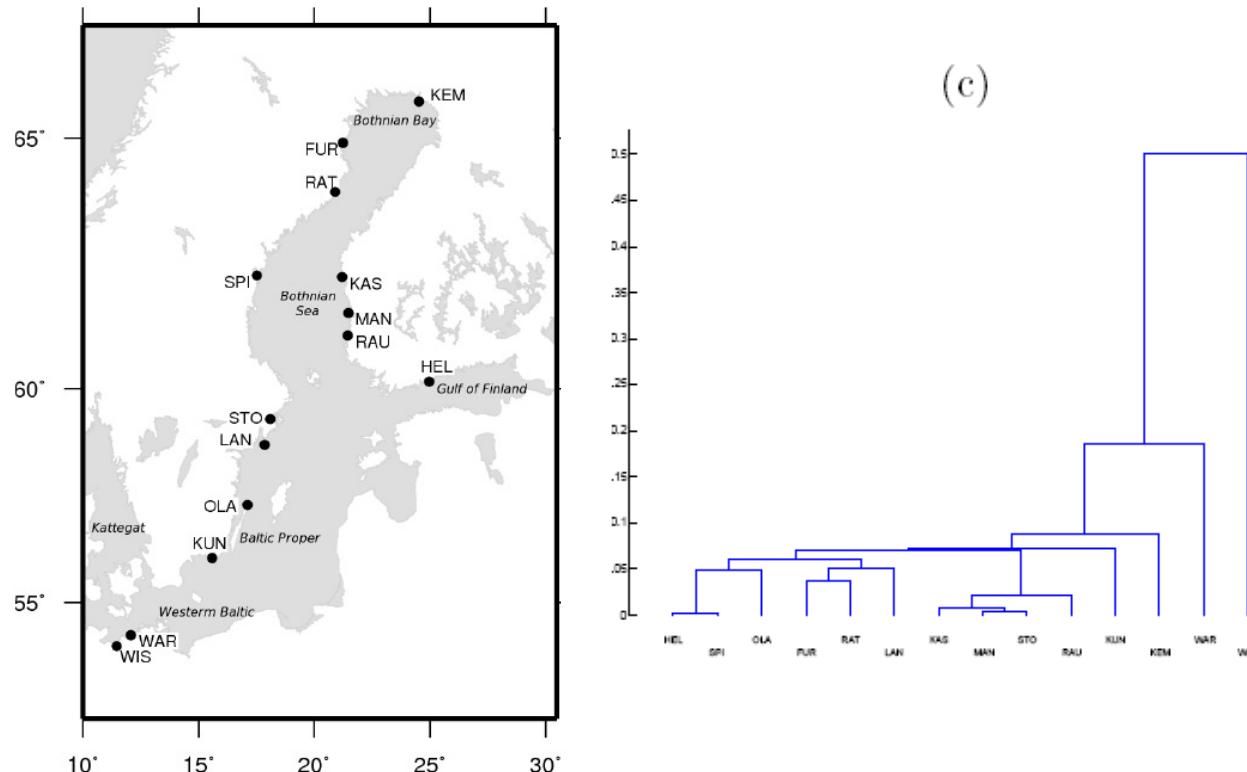
Volumen de agua facturada per capita



# Otros procedimientos y aplicaciones a medioambiente

## Clasificación de series temporales:

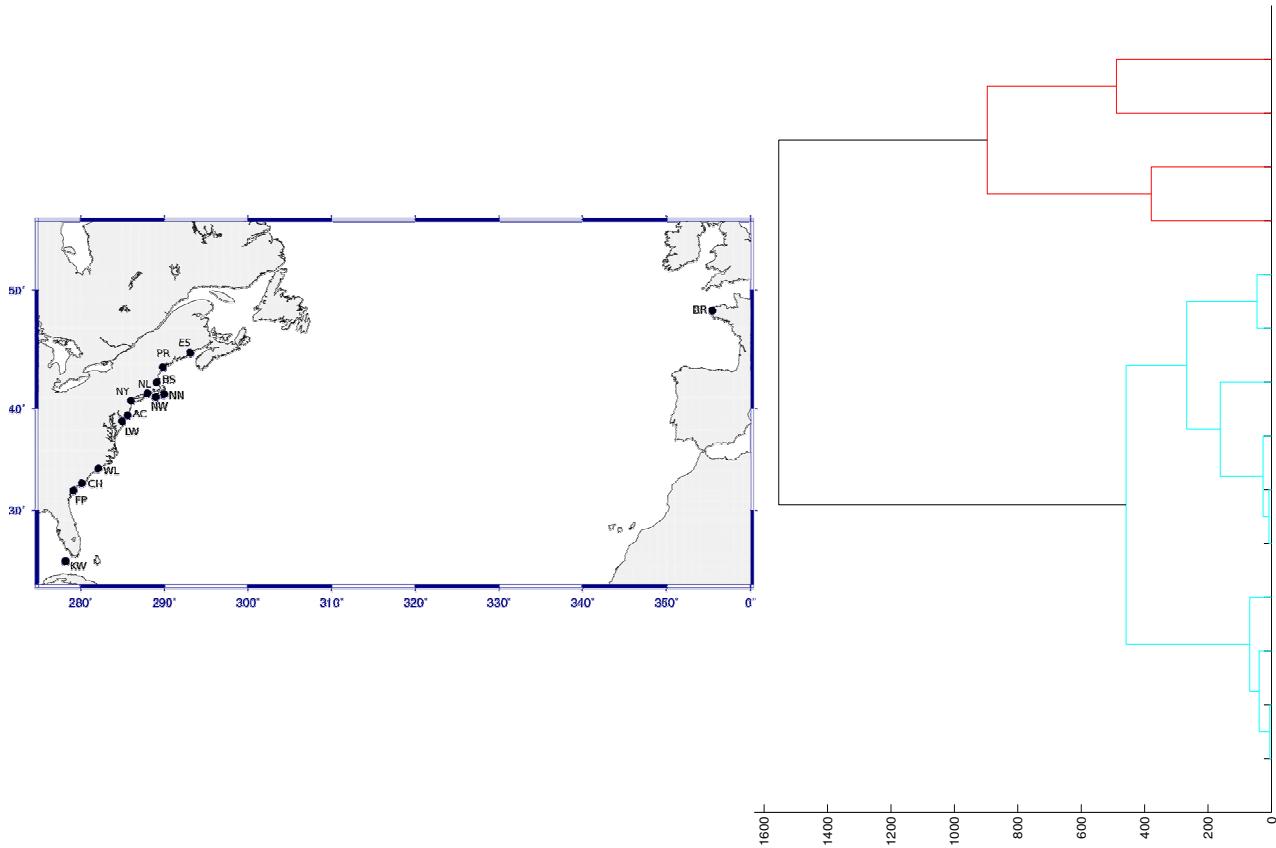
M. Scotto, S. Barbosa, and A.M. Alonso (2009) Model-based clustering of Baltic sea-level, *Applied Ocean Research*, **31**, 4–11.



# Otros procedimientos y aplicaciones a medioambiente

## Clasificación de series temporales:

M. Scotto, A.M. Alonso, and S. Barbosa (2009) Clustering time series of sea levels: an extreme value approach.



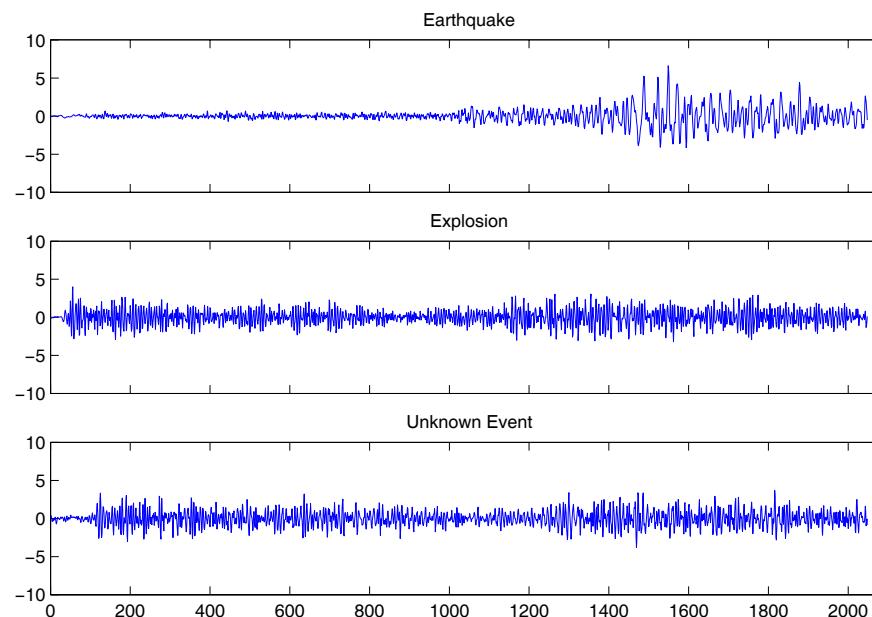
---

## Otros procedimientos y aplicaciones a medioambiente

### Análisis discriminante de series temporales:

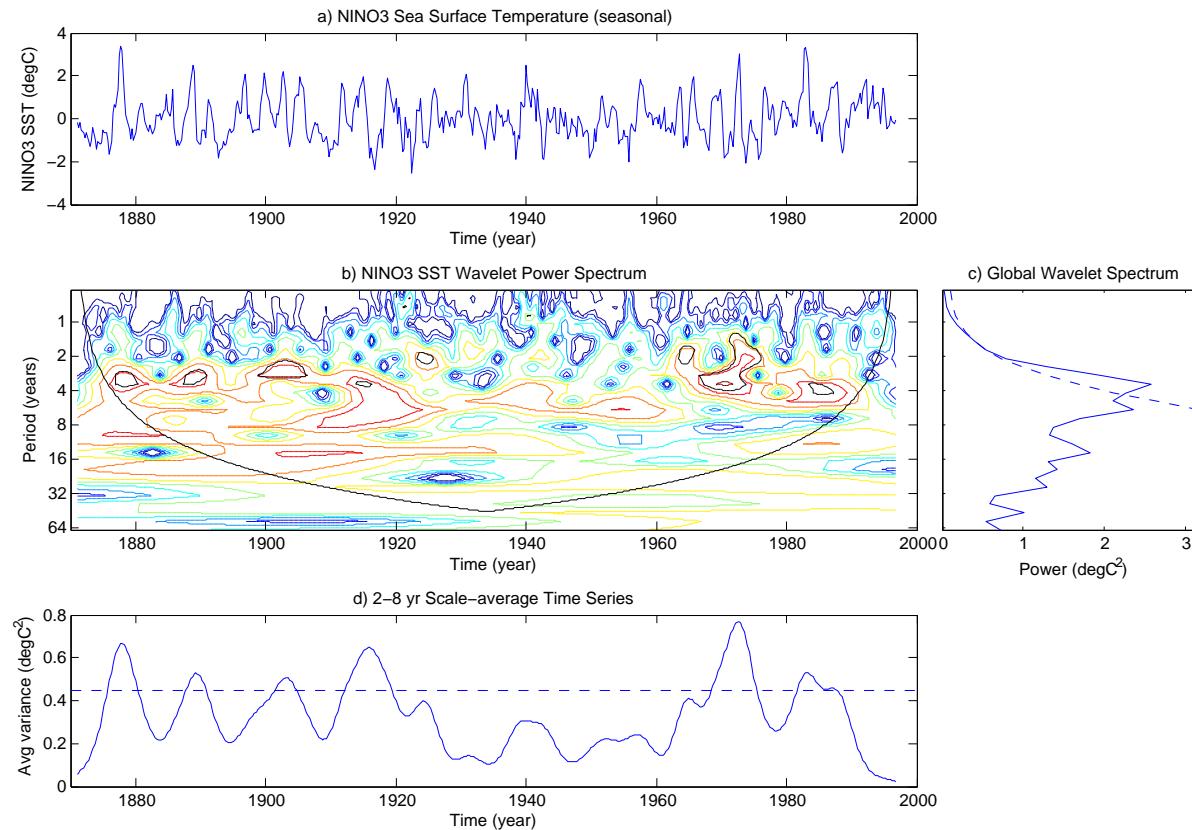
Maharaj, E.A. and A.M. Alonso (2007) Discrimination of locally stationary time series using wavelets, *Computational Statistics and Data Analysis*, **52**, 879–895.

A.M. Alonso, D. Casado, S. López-Pintado, and J.J. Romo (2008) A functional data based method for time series classification.



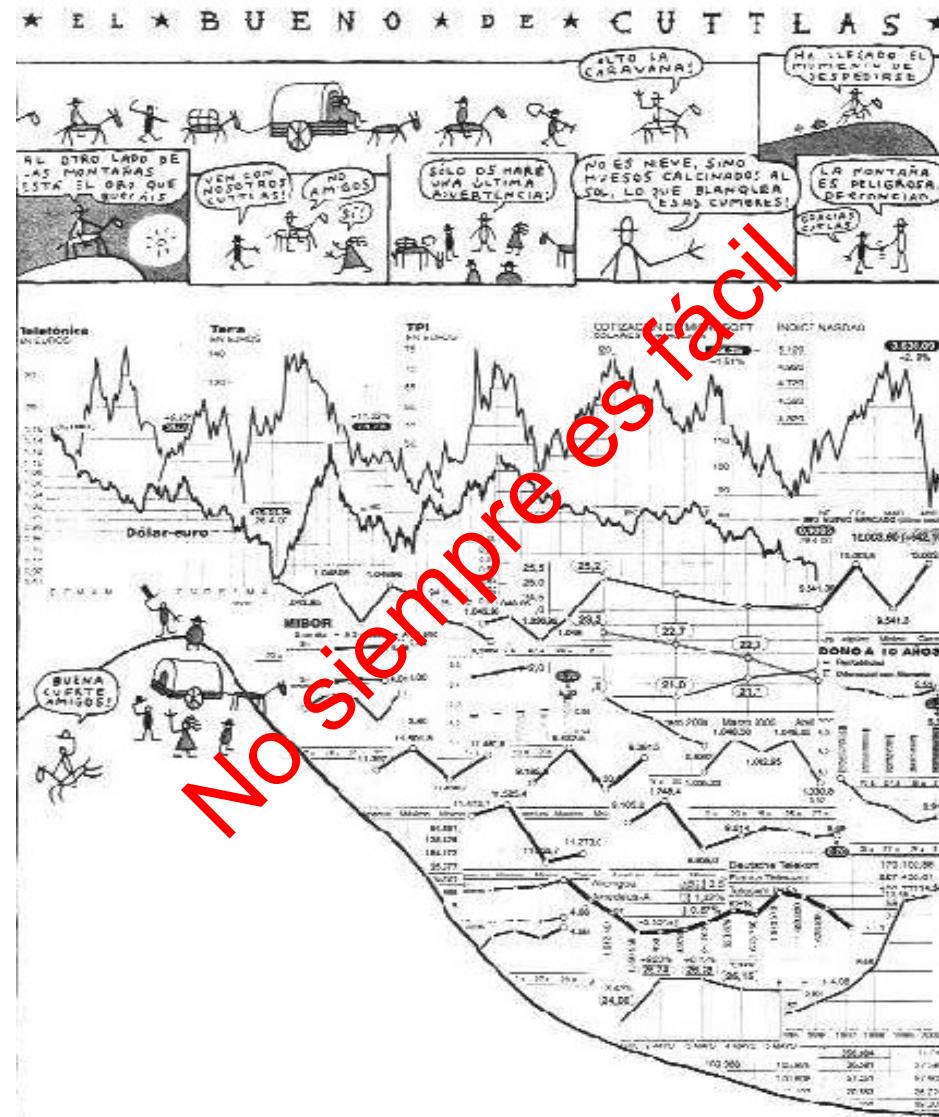
# Otros procedimientos y aplicaciones a medioambiente

**Análisis espectral:** Series localmente estacionarias.



Tomado de: C. Torrence y G.P. Compo “A practical guide to wavelet analysis”.

## **Aplicaciones a medioambiente**



Andrés M. Alonso

CIEM'09