



# Modelos estadísticos en la producción y gestión de la energía eléctrica

**M. Pilar Muñoz**

Dept. Estadística e Inv. Operativa. (UPC)  
[pilar.munyo@upc.edu](mailto:pilar.munyo@upc.edu)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA



# Modelos estadísticos en la producción y gestión de la energía eléctrica

**1 Introducción**

2 Eficiencia

3 Seguridad

4 Sostenibilidad

## 1. Introducción

## 2. Eficiencia

## 3. Seguridad

## 4. Sostenibilidad

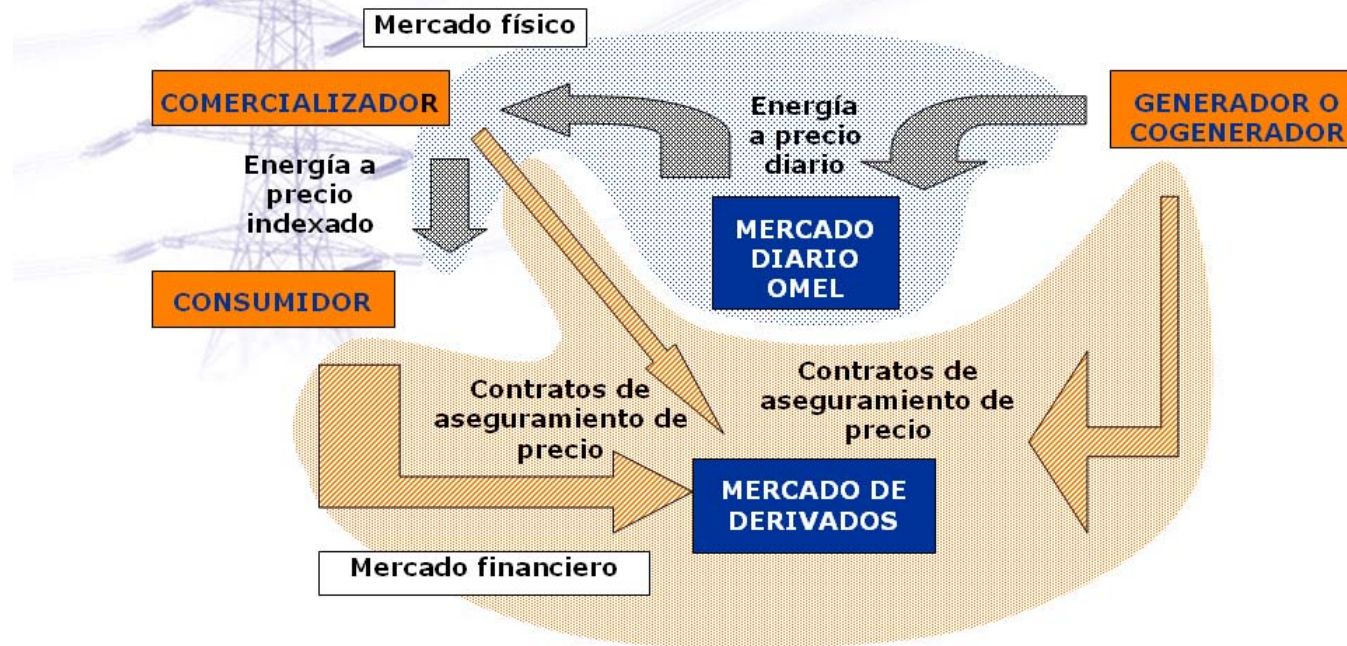


UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA



# Mercado Eléctrico

## Los mercados físicos y financieros de energía eléctrica



Fuente: Enervia



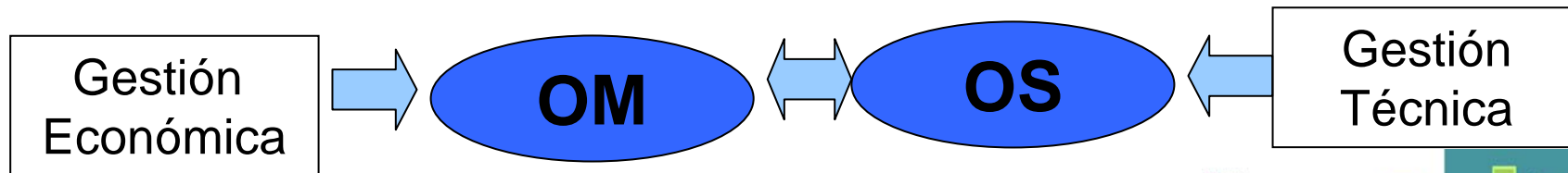
# Mercado Eléctrico

## Operador de Mercado (OM, OMIP):

- Recibe las ofertas de los participantes para vender y comprar
- Determina el precio de equilibrio del mercado

## Operador del Sistema (OS, REE):

- Garantiza la seguridad y coordinación del sistema.



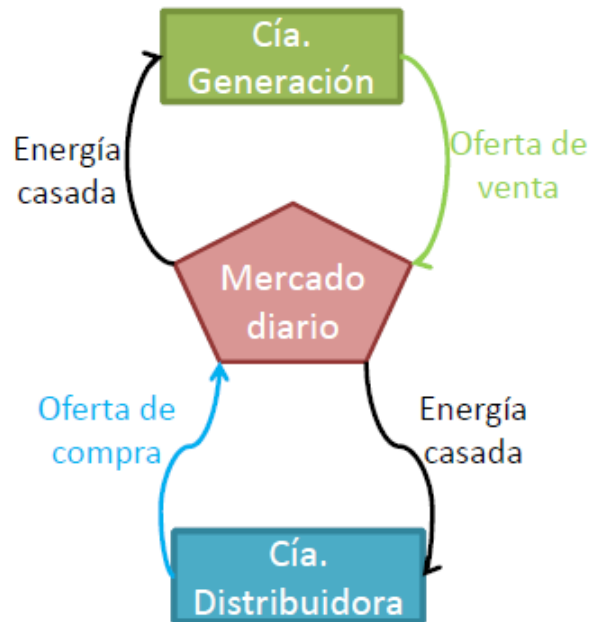
Fuente: Enervia



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA



## Estructura del mercado diario



### Compañía de generación:

- Participación diaria en el mercado
- Requiere estrategias de oferta para vender la producción de energía

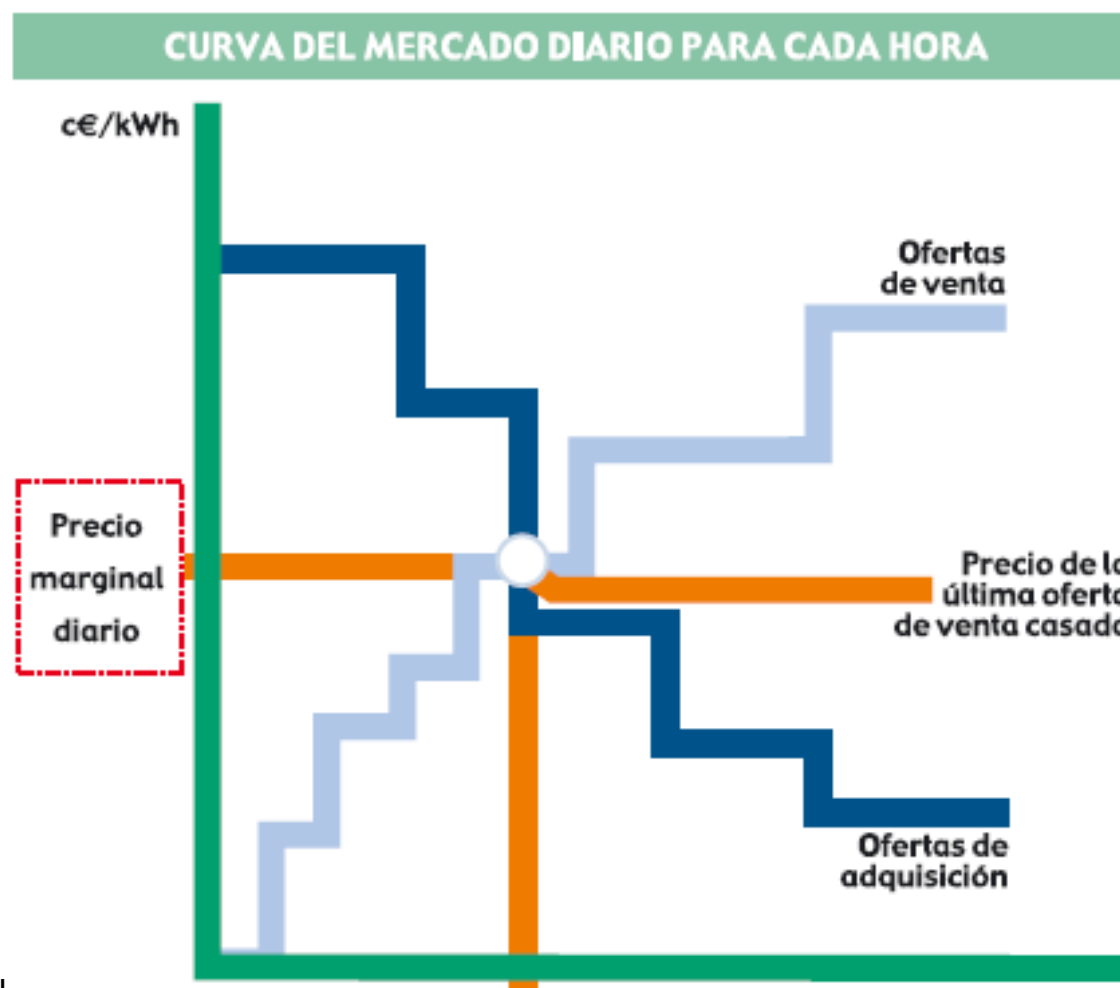
### Mercado Diario:

- Subasta horaria
- Cierre y casación del mercado 24h antes del día de entrega de la energía física

### Compañía de distribución:

- Compañías de distribución, comercialización y clientes especiales

## Mercado diario: Precio de casación



Fuente: OMEL

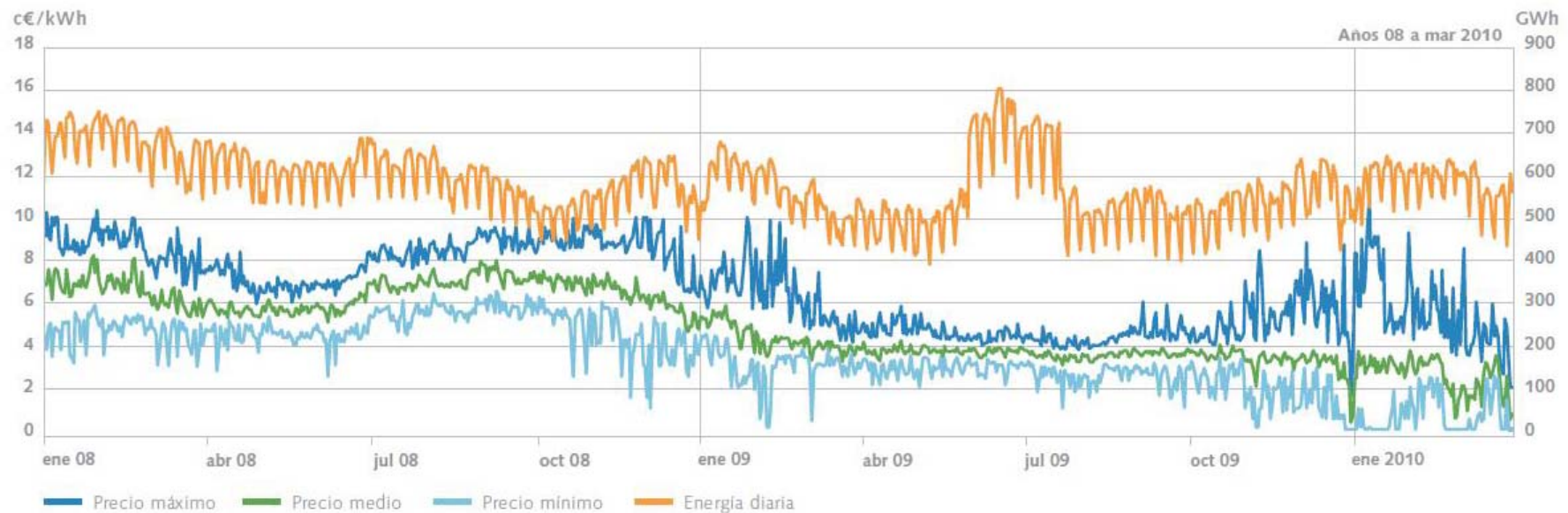


UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



## Mercado diario: Precio y demanda

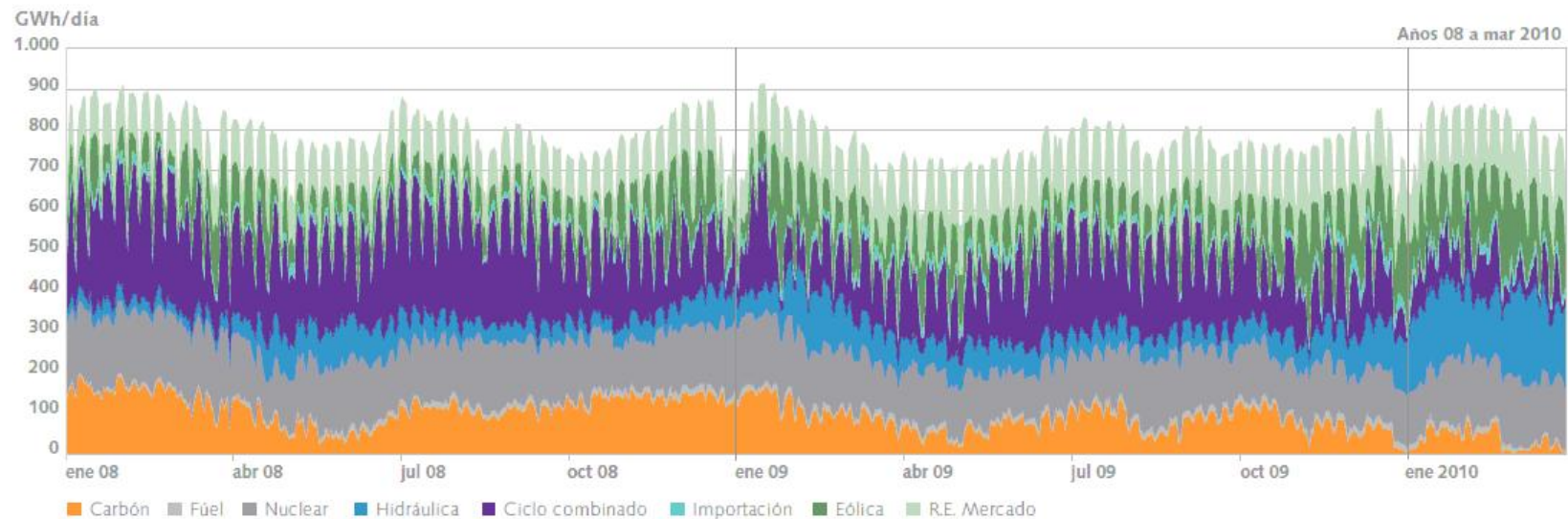
Energía y precio del mercado diario en España



Fuente: OMEL

## Mercado Eléctrico

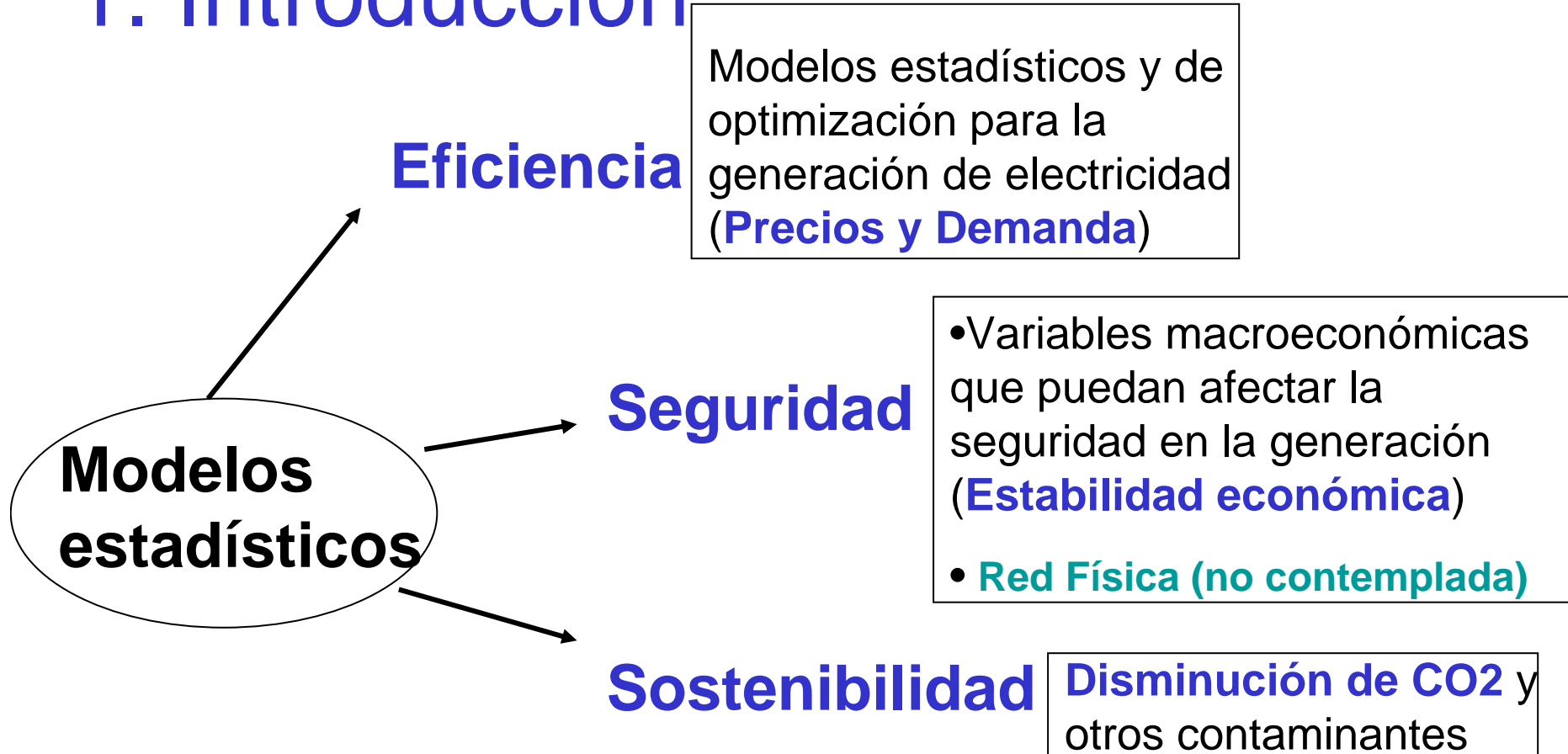
Cobertura de la demanda por tecnologías en España



Fuente: Omel



# 1. Introducción



## 2. Eficiencia

- Las compañías de **generación eléctrica** necesitan conocer cual va a ser el **consumo** de electricidad a **corto** y **medio plazo** para poder planificar su generación así como su aportación al mercado eléctrico

### → Modelos de previsión de la demanda

- Además, en los mercados eléctricos liberalizados, las empresas de generación deben construir una oferta por hora que se envía al operador del mercado. El precio al que se paga la energía no se conoce durante la subasta tiene que ser previsto.

### → Modelos de previsión de precios



## Modelos de previsión de la demanda

- **A corto plazo (1/2):**

- Modelos ARIMA estacionales (Marti-Recober et al., QÜESTIÓ, 1978.)
- Alisado exponencial (media, tendencia estacionalidad)
- Redes neuronales
- Regresión con componentes principales (cada hora es una serie diferente y se calculan las componentes principales)

- Taylor et al. (IJF, 2006,) los compara y concluye que el mejor en ECM es el alisado exponencial

- Harvey & Koopman (JASA, 1993) añaden splines periódicas a los modelos estructurales clásicos y la estimación se realiza mediante el filtro de Kalman:

- **Modelo:** Paseo aleatorio + Ciclo + Spline semana + Spline para la temperatura

## Modelos de previsión de la demanda

- **A corto plazo (2/2):**

- **Ramanathan et al. (IJF, 1997):** Regresión múltiple, una para cada hora del día. Los fines de semana modelados separadamente :
  - **Variables explicativas:** día de la semana, mes del año, año, temperatura, carga a las 8 a.m y los errores de las horas pasadas, entre otras variables.
  - **Competición con otros modelos:** Redes Neuronales, “Perceptron multilayer”, Splines, ...
  - **Mejor modelo en términos de MAPE:** Regresión múltiple.
- **Cottet & Smith (JASA, 2003):** Similar a Ramanathan et al. (1997) pero añadiendo VAR a los residuos. La estimación y selección de los parámetros por Metropolis-Hasting
- **Aneiros et al. (SEIO, 2010):** Predicción del precio y la demanda de electricidad a un día vista mediante métodos no paramétricos funcionales.

## Modelos de previsión de la demanda

- **A largo plazo :**

- **Variables explicativas:** Básicamente se incluyen **variables macroeconómicas** (GDP, núm. Empleados, núm. Hogares, población,...), variables ambientales (temperatura, núm. Días con calefacción, núm. Días con AC, ...).

- Bentzeu & Engsted (*Energy Economics*, 1993): cointegración; Mohamed & Bodger (*Energy*, 2005) y Chui et al. (*European J. Ind. Engineering*, 2009): regresión múltiple; Hyndman & Fan (*IEEE Trans. Power Systems*, 2010): regresión por splines.

➤ Nuestra aportación: **Generación de energía eléctrica: España 2020. ¿Será sostenible?** (Muñoz et al, *CLM Economía*, 2009).

- **Objetivo:** Obtener el “mix” de energías más adecuado para alcanzar los objetivos medioambientales en el 2020
- **Previsión dinámica** incluyendo IPI, variación interanual IPC, núm. Días con temperaturas bajo y ARMA estacional para los residuos.

## Modelos de previsión del precio (1/3)

- ¿Por qué es tan difícil predecir el precio de la electricidad?
  - ❑ Porque los **precios** son muy **volátiles** debido a que
    - La demanda se ha de satisfacer en tiempo real
    - Técnicamente es casi imposible almacenarla
    - Muchos de sus inputs (gas, carbón, petróleo) también tienen sus precios muy volátiles
    - Las fluctuaciones de la demanda debidas a las condiciones climatológicas y los hábitos humanos
  - ❑ Es crucial conocer cuales son **las posibles causas externas** y mucho más para **España** que **importa** la mayoría de las **materias primas** que intervienen en la generación eléctrica.
  - ❑ En el **mercado británico**, el **precio de la electricidad** está asociado con el del **gas** y el del **carbón** (Bunn & Fezzi, **WP Fondazione Eni Enrico Mattei, 2007** )

## Modelos de previsión del precio (2/3)

- En general se pueden clasificar en (Serati, Manera, Plotegher. Liuc Papers n. 210, Series Economics and Business, 56, 2007):
  - Modelos que se basan en las observaciones anteriores de los precios y otras variables externas: **ARIMA**, **ARX** o **PAR** (Conejo et al., IEEE Transaction on Power Systems, 2005)
  - Modelos para modelar la variancia de la evolución de los precios, debido a que esta no es constante a lo largo del tiempo. Son los modelos de **variancia condicional heterocedástica**: **ARCH** y **GARCH** para el caso univariante y **MGARCH** para el caso multivariante (Misorek, Trueck, Weron, Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics, 2006)
  - Modelos que consideran divisiones en la serie temporal en distintas fases o **regímenes** caracterizados por distintos procesos: **Modelos markovianos de Switching** (De Jong, Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics, 2006)
  - **Modelos factoriales dinámicos (DFM)** que, usando la metodología de espacio de estado, estiman los precios a partir de factores o variables latentes, no observables (García Martos, Tesis Doctoral-UPM,2010)



## Modelos de previsión del precio (3/3)

➤ Nuestra aportación:

**“Improving electricity market price scenarios by means of forecasting factor models”**

(Muñoz, Corchero, Heredia, Review International Statistical Institute, 2010, pendiente de publicación)

- Metodología:
  - Modelar los precios horarios con una modelo factorial dinámico
  - Las previsiones del modelo son el input que permite la generación de escenarios para el modelo de optimización



## 3. Seguridad



<http://www.renewableenergyworld.com/rea/blog/post/2010/08/index-of-u-s-energy-security-risk>

## 3. Seguridad

- **Nuestras aportaciones (1/3)**
- “Are electricity prices affected by the US dollar to Euro exchange rate? The Spanish case” (Muñoz & Dickey, Energy Economics, 2009)
- **Objetivo:** Investigar la relaciones entre el precio spot de la electricidad (**SEP**) y la cotización **USdollar/Euro (EDER)** teniendo en cuenta la asociación entre el **dollar y los precios del petroleo (OIL\_DOL)** .
- **Periodo muestral** : 3 Enero, 2005 – 31 diciembre 31, 2007 (dias laborables).

# Modelos estadísticos en la producción y gestión de la energía eléctrica

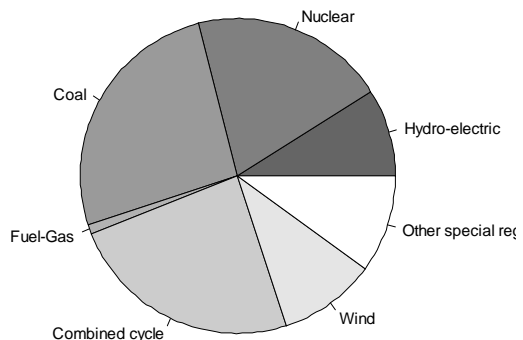
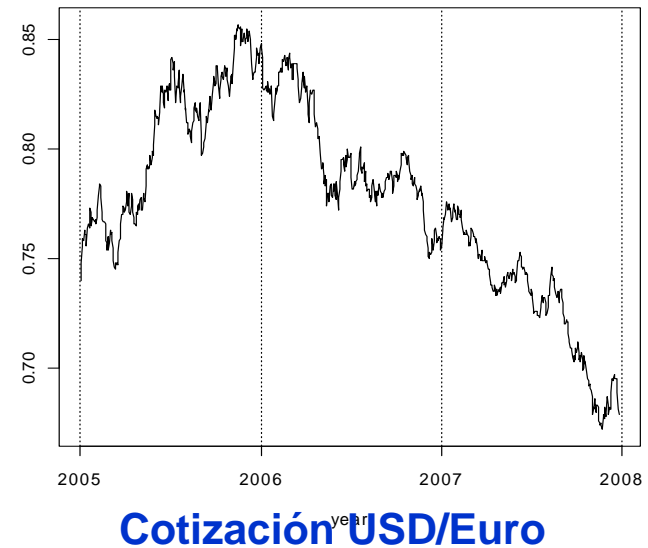
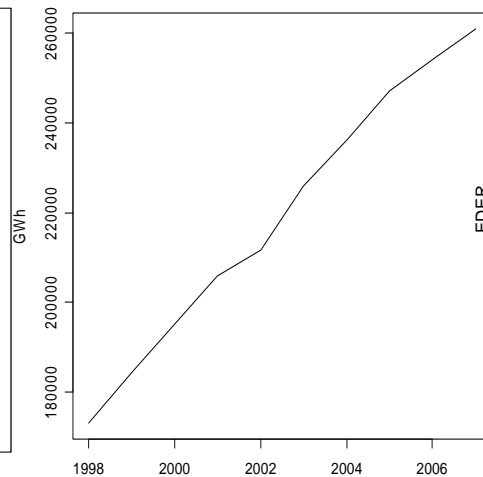
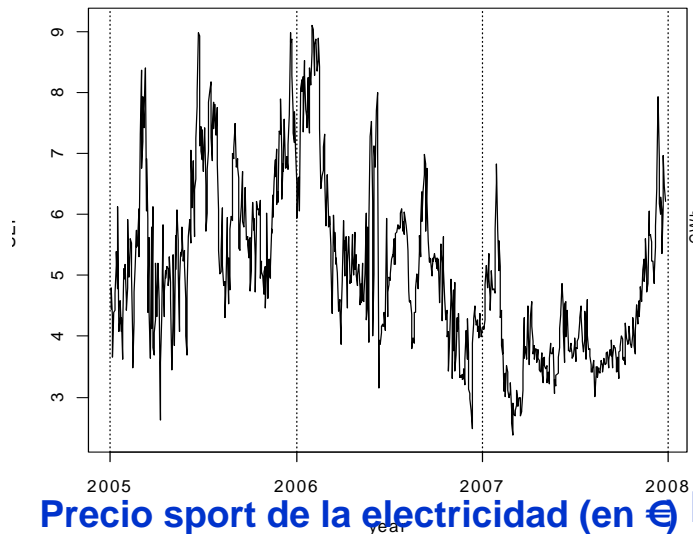
1 Introducción

2 Eficiencia

3 Seguridad

4 Sostenibilidad

## Datos (2/3)



## Conclusiones (3/3)

- El precio spot de la electricidad, la cotización USD/Euro y el precio del petróleo están cointegrados → hay una relación de equilibrio a largo plazo entre las tres variables
- Relaciones a corto plazo: se detectaron entre los precios del petróleo y el precio de la electricidad y la cotización USD/Euro en el sentido que el precio de la electricidad y la cotización USD/Euro exchange rate están afectadas por los precios del petróleo.
- Transmisión de volatilidad entre cotización USD/Euro y precios del petróleo hacia precio de la electricidad; por lo tanto aunque los precios de la electricidad no están afectados en media por los movimientos de tasa de cambio USD/Euro, sí que lo están en volatilidad.

## 4. Sostenibilidad

### ➤ Algunas aportaciones:

➤ **“Multidimensional Semiparametric Prediction with cointegration in Errors for Pollution Indicators”** (González Manteiga, W., Piñeiro-Lamas M., Febrero-Bande, M., Review International Statistical Institute, pendiente de publicación)

Permite predecir las cantidades de  $SO_2$  y  $NO_x$  generadas por una central eléctrica

➤ **Previsión de la generación eólica a partir de los datos del viento.**

Proyecto financiado por el MICINN 2010-2012 (IP: M. Pilar Muñoz)

## Referencias (1/4)

- Aneiros G, Cao R, Vilar JM (2010). Predicción del precio y de la demanda de electricidad a un día vista a través de métodos no paramétricos funcionales. [Congreso Nacional de la SEIO](#).
- Bentzen J, Engsted T (1993). Short and long-run elasticities in energy demand: A cointegration approach. [Energy Economics](#), 15(1): 9-16.
- Bunn DW, Fezzi C (2007). Interaction of European Carbon Trading and Energy Prices. [WP 2007.63, Fondazione Eni Enrico Mattei](#).
- Chui F, Elkamel A, Surit R, Croiset E, Douglas PL (2009). Long-term electricity demand forecasting for power system planning using economic, demographic and climatic variables. [European J. Ind. Engineering](#), 3(3): 277-304.
- Cottet R, Smith M (2003). Bayesian Modeling and Forecasting of Intraday Electricity Load. [JASA](#), 98: 839-849.

## Referencias (2/4)

- Conejo AJ, Plazas MA, Espínola R, Molina AB (2005). Day-Ahead Electricity Price Forecasting Using the Wavelet Transform and ARIMA models. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(2): 1035-1042
- De Jong C (2006) The nature of power spikes: A regime-switch approach. *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics* 10(3), Article 3
- Garcia Martos C. (2010). Multivariate time series forecasting using unobserved common factors. Applications to electricity prices in the spanish market. *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Gonzalez Manteiga W, Piñeiro Lamas M, Febrero Bande M (2010). Multidimensional Semiparametric Prediction with Cointegration in Errors for Pollution Indicators. *Review International Statistical Institute*, (pendiente de publicación)
- Harvey AC, Koopman, SJ (1993) Forecasting hourly electricity demand using time-varying splines. *JASA*, 88: 1228-1236.

## Referencias (3/4)

- Hyndman RJ, Fan S (2010). Density forecasting for long-term peak electricity demand. *IEEE Transactions on Power Systems*, 25(2): 1142–1153
- Martí-Recober M, Prat A, Hernández C (1978). Aplicación de la metodología de Box-Jenkins a la previsión de la punta mensual de carga de una empresa eléctrica. *Qüestió*, 2(4): 229-238.
- Misiorek A, Trueck S, Weron R (2006) Point and Interval Forecasting of Spot Electricity Prices: Linear vs. Non-Linear Time Series Models. *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 10(3).
- Mohamed Z, Bodger P (2005). Forecasting electricity consumption in New Zealand using economic and demographic variables. *Energy*, 30: 1833–1843



## Referencias (4/4)

- Muñoz MP, Dickey DA (2009). Are electricity prices affected by the US dollar to Euro exchange rate? The Spanish case. *Energy Economics* 31(6): 857-866.
- Muñoz MP, Corchero C, Heredia FJ (2010). Improving electricity market price scenarios by means of forecasting factor models. *Review International Statistical Institute* (pendiente de publicación).
- Muñoz MP, Marquez MD (2009). Generación de energía eléctrica: España 2020 ¿será sostenible). *CLM Economía*, 14: 153-178.
- Ramanathan R, Engle R, Granger CLW, Vahid-Araghi F, Brace C (1997) Short-run forecasts of electricity loads and peaks. *International Journal of Forecasting*, 13(2): 161-174
- Serati M, Manera M, Plotegher M (2007). Modelling Electricity Prices: From the State of the Art to a Draft of a New Proposal. *Liuc Papers n. 210, Series Economics and Business*, 56
- Taylor JW, de Menezes LMM, McSharry PE (2006). A Comparison of Univariate Methods for Forecasting Electricity Demand Up to a Day Ahead. *International Journal of Forecasting*, 22: 1-16



# Modelos estadísticos en la producción y gestión de la energía eléctrica

1 Introducción

2 Eficiencia

3 Seguridad

4 Sostenibilidad

# Gracias!



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA

