

LOGÍSTICA

PREVISIÓN DEL PRECIO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN ESPAÑA

Resumen / Abstract

El objetivo de este trabajo, es la obtención de previsiones para el precio de la energía eléctrica en el Mercado de Producción de la Energía Eléctrica en España. Para ello, se han analizado dos series temporales, correspondientes a los precios y las demandas horarias durante el mes de abril de 1999, para las cuales se han obtenido previsiones con una de las metodologías de previsión más reconocidas, como es la de Box-Jenkins. Se han construido modelos univariantes y de función de transferencia, en los que se introduce la demanda como variable explicativa del precio. A partir de ambos tipos de modelos, se han calculado previsiones para las veinticuatro horas del último día de abril.

The main objective of this job, is to forecast the price of the electricity on Spain's Electricity Generation Market. To do this, two time series of hourly prices and demands for the last two weeks of April 1999 were analysed, and forecasts were calculated using one of the most widely-known methodologies: Box-Jenkins. Univariate and Transfer Function models, where demand was introduced as an explanatory variable for the price of electricity, were built. Forecasts for the twenty-four hour period covering the last day of April were made using both models.

Palabras clave / Key words

Previsión, Box-Jenkins, función de transferencia, mercado eléctrico
Forecasting, Box-Jenkins, transfer function, electricity market

José Parreño Fernández, Doctor
Ingeniero Industrial, Universidad de
Oviedo, Oviedo, España
:-mail:parreno@etsiig.uniovi.es

David de la Fuente García, Doctor
Ingeniero Industrial, Universidad de
Oviedo, Oviedo, España
:-mail:david@etsiig.uniovi.es

Raúl Pino Díez, Doctor Ingeniero
Industrial, Universidad de Oviedo,
Oviedo España
:-mail:pino@etsiig.uniovi.es

Paolo Priore Moreno, Doctor
Ingeniero Industrial, Universidad de
Oviedo, Oviedo, España
:-mail:priore@etsiig.uniovi.es

Recibido: Noviembre del 2003
Aprobado: Enero del 2004

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se analiza el comportamiento de las variables precio y demanda de energía eléctrica en el Mercado de la Producción de Energía Eléctrica en España, con el objetivo de calcular previsiones para el precio. De todas las series temporales de que se dispone, se han analizado las correspondientes a precios y demandas horarias del mes de abril de 1999, con el objeto de hacer previsiones para las veinticuatro horas del día 30 de abril. Estas previsiones van a ser calculadas mediante la metodología de previsión de Box-Jenkins.¹

En el artículo se hace un análisis del funcionamiento del mercado eléctrico, se presenta un breve resumen de la metodología de previsión de Box-Jenkins; y se exponen las características de las series temporales analizadas; además, se muestran los modelos para cada una de ellas; asimismo, se presentan los resultados obtenidos al calcular previsiones, y se muestran las conclusiones extraídas del estudio realizado.

MERCADO ELÉCTRICO EN ESPAÑA

El mercado de electricidad es una bolsa donde se negocian las operaciones de compra-venta de esta mercancía. Del mismo modo que al mercado de valores acuden quienes deseen adquirir o

vender activos financieros, al mercado eléctrico acuden los productores y los compradores de energía eléctrica, que presentan sus ofertas económicas de compra y venta; se produce la casación de las mismas y, como consecuencia de ella, se determinan los precios (uno para cada hora del día) a los que se liquidarán las transacciones, así como las cantidades que venden o compran los diferentes agentes del mercado.

El carácter no almacenable del producto hace que, en cada instante, la cantidad vendida deba coincidir exactamente, no solo con la cantidad comprada, sino con la consumida. Ello hace necesarios una serie de mecanismos y dispositivos que compatibilicen los aspectos comerciales (comprar y vender), con los técnicos (generar y consumir).

El mercado diario, como parte integrante del Mercado de Producción de Energía Eléctrica, tiene por objeto llevar a cabo las transacciones de energía eléctrica para el día siguiente al que se realizan los cálculos. Las ofertas de los vendedores se presentarán al operador del mercado, y serán incluidas en un procedimiento de casación teniendo efectos para el horizonte diario de programación, correspondiente al día siguiente del día de cierre de la recepción de ofertas para la sesión, y comprendido por 24 periodos horarios de programación consecutivos. Una vez recibidas, verificadas y aceptadas las ofertas de venta y adquisición de energía (recibidas antes de las 10:00 horas del día), el operador del mercado procede a la casación de las mismas, con objeto de determinar el precio marginal y de asignar la producción y demanda entre los agentes que han acudido a la subasta. Este proceso puede ser simple o complejo, dependiendo de que concurren únicamente ofertas simples o que, por el contrario, se presenten ofertas simples y complejas.²

Como resultado de todo este proceso de casación de ofertas de compra y venta de energía eléctrica, se obtiene a las 11 horas, el **programa diario base de funcionamiento** (PDB). Con la información contenida en el PDB, las ofertas presentadas por los agentes y los contratos bilaterales suscritos, el operador del sistema determina las restricciones técnicas del PDB, así como la energía que es necesario incorporar o retirar para solventarlas. Recibida esta información, el operador del mercado procede a modificar el resultado de la casación retirando o incorporando energía, siguiendo el orden de precedencia económica, hasta que se recupere el equilibrio generación-demanda en todos los periodos horarios de programación. Estos ajustes son enviados al operador del sistema, quien elaborará a las 14 horas, el **programa diario viable provisional** (PDVP).

Las transacciones resultantes de la casación corregidas con la resolución de las restricciones técnicas son previsiones que, probablemente no se cumplirán al 100 %. Pueden surgir imprevistos tales como averías de las unidades de producción o de consumo, de las líneas de transmisión, la temperatura ambiente puede ser superior o inferior a la esperada o simplemente puede haber errores de previsión.

Por otra parte, el sistema eléctrico no puede disponer de almacenamientos intermedios que resuelvan el problema, por lo que el operador del sistema necesita disponer de algunas unidades de producción que estén dispuestas a incrementar o reducir su carga para ajustarse al consumo que se vaya

demandando. Esta banda de potencia disponible constituye el servicio de regulación secundaria, que será utilizada por el operador del sistema para dar solución a imprevistos como los comentados anteriormente. El resultado, que se publica a las 16 horas de cada día, es el **programa diario viable definitivo** (PDVD).

Finalmente, el Mercado de Producción de Energía Eléctrica ofrece a sus participantes la oportunidad de modificar sus posiciones de compra o venta, mediante la participación en el **mercado intradiario**, que está actualmente estructurado en tres sesiones distribuidas entre las 16:00 horas y las 12:00 horas de día siguiente. En cada sesión, se realiza la casación de las ofertas de compra y venta presentadas, obteniéndose después de análisis y resolución de las eventuales restricciones técnicas, el **programa horario final** (PHF).

METODOLOGÍA DE BOX-JENKINS

Aquí se resume de la metodología Box-Jenkins de construcción de modelos ARIMA univariantes y de modelos de función de transferencia. Hay que destacar que los modelos ARIMA fueron introducidos por Wold,³ combinando los modelos autorregresivos (AR) que ya había introducido con anterioridad Yule,⁴ y los modelos de medias móviles (MA), presentados por Slutsky.⁵

La metodología de previsión de Box-Jenkins, consiste en encontrar un modelo matemático que represente el comportamiento de una serie temporal de datos, de modo que para hacer previsiones no haya más que introducir en dicho modelo el periodo de tiempo para el cual se quiere hacer la previsión. En los modelos univariantes, se explica el comportamiento de una serie temporal a partir de las observaciones pasadas de la propia serie y a partir de los errores pasados de previsión (o diferencias entre valores reales de pasado y las correspondientes previsiones utilizando el modelo) mientras que en los modelos de función de transferencia, se incorporan una o más variables explicativas que ayuden a incluir más información en el modelo y, por lo tanto, a obtener mejores previsiones.

Los modelos de función de transferencia asumen que la relación entre las variables de entrada y la de salida es unidireccional, es decir, las variables de entrada influyen en el comportamiento de la de salida, pero no al revés. Existen dos métodos para la construcción de un modelo de función de transferencia:⁶

- El método de la función de correlación cruzada (CCF) propuesto por Box y Jenkins.¹
- El método de la función de transferencia lineal (LTF) propuesto por Liu y Hanssens.²

En este trabajo, se ha elegido el segundo de estos métodos para la construcción del modelo de función de transferencia recomendado por Liu y Hudak.⁶

Una ventaja de los modelos de Box-Jenkins de previsión es que una vez adquirida experiencia en su metodología resulta bastante rápido el mecanismo de búsqueda de los modelos gracias al uso del ordenador. Además, una vez encontrado el modelo resulta inmediato hacer previsiones y comparaciones entre

datos reales y previsiones para observaciones pertenecientes al pasado, de modo que resulta también fácil ver gráficamente la ventaja del modelo elegido.

Otra característica de estos modelos es que se obtienen mejores previsiones a corto plazo que a largo, debido fundamentalmente a la propia estructura de los modelos ARIMA. De todos modos, esta conclusión es una generalización ya que cada serie tiene sus propias particularidades.

Hay que tener en cuenta que, para modelar una serie temporal con la metodología de Box-Jenkins, es necesario el empleo de alguna aplicación informática que facilite la tarea, ya que debido a la complejidad y gran cantidad de operaciones resulta imposible llevar a cabo sin la ayuda de un ordenador. Uno de los paquetes más reconocidos internacionalmente es el SCA (Scientific Computing Associates), del cual el mismo Box es asesor. Este paquete es el utilizado en la realización de este trabajo.

CARACTERÍSTICAS Y MODELOS DE LAS SERIES TEMPORALES

Las series temporales que se van a estudiar son las correspondientes a precios y demandas horarias, dentro del Mercado de Producción de Energía Eléctrica en España. Como se indicó anteriormente, estas series contienen 384 datos horarios de precios y demandas, que van desde las 01 horas del 15 de abril, hasta las 24 horas del 30 de abril de 1999. Para cuantificar la calidad de las previsiones obtenidas,⁸ se dividen los datos de cada serie temporal, en dos subconjuntos: un primer subconjunto formado por 360 datos, que sirve para determinar el modelo correspondiente, y un segundo subconjunto, formado por las restantes 24 observaciones, que serán comparadas las 24 previsiones obtenidas con el modelo, para las 24 horas del 30 de abril de 1999. Los gráficos temporales de estas dos series pueden verse en las figuras 1 y 2, respectivamente.

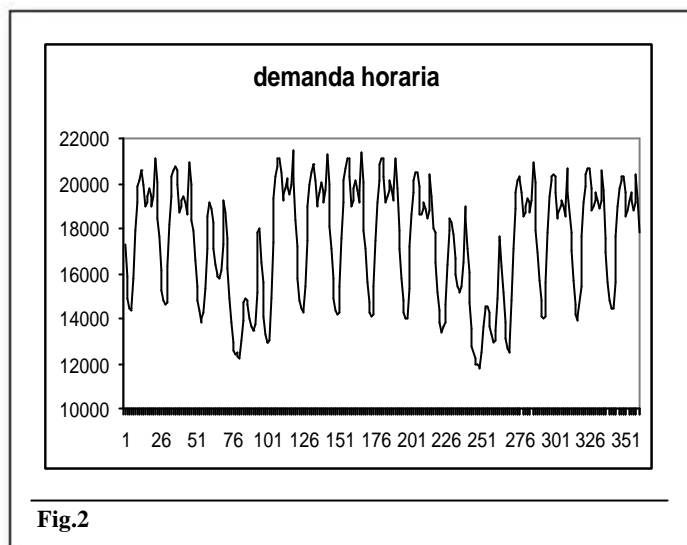


Fig.2

Como se indicó con anterioridad, se aplicará la metodología de Box-Jenkins para calcular previsiones para la variable precio horario de la energía eléctrica.

En la tabla 1 se muestran los modelos Box-Jenkins (BJ) univariantes encontrados para el precio y la demanda horarios, así como el modelo de función de transferencia (TF) para el precio, en el que se introduce la demanda como variable explicativa. También se muestran los valores de los errores estándares de los residuos (RSE), obtenidos con dichos modelos.

Como se puede apreciar, a la vista de los gráficos temporales y de los modelos obtenidos, las series no presentan grandes tendencias que justifiquen la toma de diferencias de primer orden. Es de destacar que ambas series son fuertemente estacionales de orden veinticuatro, es decir, diaria al ser los datos horarios.

A la vista del modelo TF, se observa que la única ponderación significativa es w_0 , por lo que se deduce que la influencia de la demanda en el valor del precio es instantánea, es decir, el valor de la demanda que influye en el precio, es el de la misma hora que la del precio que se está calculando. Por otro lado, el valor del RSE que se obtiene con este modelo TF es de 0,25, menor que el obtenido con el modelo univariante, que proporcionaba un RSE de 0,27. Una vez estimados estos modelos, los valores obtenidos para los parámetros se muestran en la tabla 2.

PREVISIONES OBTENIDAS

Para calcular las previsiones para las veinticuatro horas del 30 de abril, se ha utilizado el método *one-step ahead*, consistente en ir incorporando al modelo nuevos datos a medida que se dispone de ellos, con el objeto de reestimar cada vez el modelo y obtener previsiones para un solo período hacia delante.

Las previsiones obtenidas para el precio horario, con los modelos construidos en este trabajo (univariante y de función de transferencia), se muestran gráficamente en la figura 3, en la que son comparadas con los valores reales del precio. Estas previsiones están calculadas para las 24 horas del día 30 de abril de 1999.

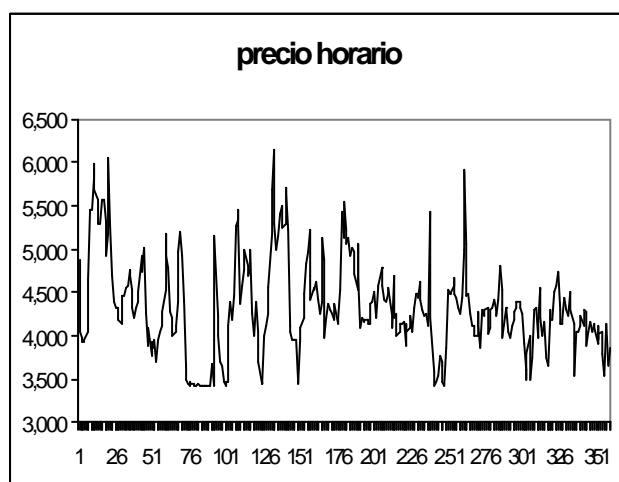


Fig.1

Para medir la calidad de las previsiones mostradas en la figura 3, se utilizan los siguientes estadísticos:

1. El error medio absoluto (MAD, *Mean Absolute Deviation*) utilizado, entre otros, por Xie y Ho.⁹

$$MAD = \frac{1}{N} \sum |X_t - F_t|$$

2. El error medio absoluto porcentual (MAPE, *Mean Absolute Percentage Error*), propuesto por Makridakis en 1993.¹⁰

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum \left| \frac{X_t - F_t}{\frac{X_t + F_t}{2}} \right|$$

donde:

N : Representa el número de previsiones.

X_t y F_t : Valor en el instante t , de la serie y de la previsión respectivamente.

En la tabla 3, se muestran los valores del **valor medio del error absoluto (MAD)** y el **error medio porcentual (MAPE)**.

Los resultados que se muestran en esta tabla 3 confirman la calidad de las previsiones obtenidas; en concreto, se obtienen mejores previsiones con el modelo de función de transferencia que incorpora la demanda como variable explicativa del precio horario.

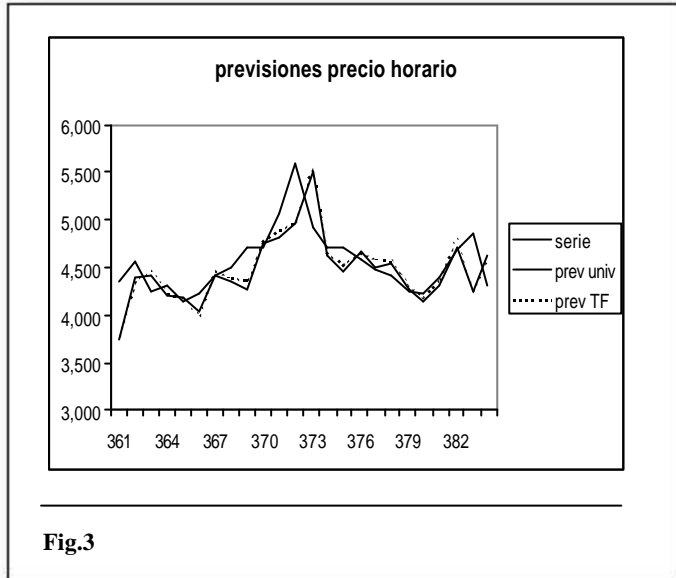


Fig.3

TABLA 1 Modelos BJ univariantes y de función de transferencias		
Serie	Modelo BJ	RSE
Precio univariante	$(1-\phi_1 B) (1-B^{24}) x = (1-\theta_{24} B^{24}) a_t$	0,27
Demanda univariante	$(1-\phi_1 B - \phi_2 B^2 - \phi_3 B^3) (1-B^{24}) x = (1-\theta_9 B^9) (1-\theta_{24} B^{24}) a_t$	318
Precio TF	$(1-B^{24}) y = w_0(1-B^{24}) x + (1-\theta_{24} B^{24}) a_t / (1-\phi_1 B)$	0,25

TABLA 2 Estimación de los parámetros de los modelos	
Serie	Estimaciones de los parámetros
Precio univariante	$\phi_1=0,86 \quad \theta_{24}=0,69$
Demanda univariante	$\phi_1=1,71 \quad \phi_2=-0,94 \quad \phi_3=0,20 \quad \theta_9=-0,31 \quad \theta_{24}=0,79$
Precio TF	$w_0=0,018 \quad \phi_1=0,80 \quad \theta_{24}=0,78$

TABLA 3
Valores del MAD y MAPE de las previsiones obtenidas

	MAD		MAPE	
	UNIV	TF	UNIV	TF
Modelo BJ	0,204 8	0,199 0	4,463 %	4,330 %

CONCLUSIONES

En este artículo se han obtenido previsiones para el precio de la energía en el Mercado de la Energía Eléctrica en España. Para ello, se ha utilizado la metodología de previsión de Box-Jenkins, con la que se han construido modelos univariantes y de función de transferencia para el precio horario de la energía; en estos últimos, se ha introducido la demanda como variable explicativa del precio. Los resultados de este estudio muestran que la calidad de las previsiones obtenidas es bastante buena, tanto para los modelos univariantes como para las funciones de transferencia construidas, encontrándose una ligera mejoría en la calidad de las previsiones, cuando se incorpora la demanda como variable explicativa en las funciones de transferencia. [3]

REFERENCIAS

1. **BOX G, E.P. AND M. JENKINS, G:** *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, San Francisco: Holden Day, 1970.

2. "Reglas de Funcionamiento del Mercado de Producción de Energía Eléctrica", *Nota Técnica No. 48, Servicio de Asesoramiento del Sector Eléctrico (SASE)*, Analistas Financieros Internacionales, AFI, Madrid, 1998.
3. **WOLD, H.:** *A Study in the Analysis of Stationary Time Series*, Estocolmo: Almqvist & Wiksell, 1938.
4. **YULE G., U.:** "Why do we Sometimes Get Nonsense-Correlations between Time Series? A Study in Sampling and the Nature of Time Series", *Journal of Royal Statistical Society*, No. 89, pp. 1-64, 1926.
5. **SLUTSKY, E.:** "The Summation of Random Causes as the Source of Cyclic Processes", *Econometrika*, No. 5, pp. 105-46, 1937.
6. **LIU L., M. AND B. HUDAK G:** *Forecasting and Time Series Analysis Using the SCA Statistical System*, Illinois: SCA Corp. 1992.
7. **LIU L., M. AND M. HANSENS, D.:** "Identification of Multiple-Input Transfer Function Models", *Communications in Statistics*, No. 11, pp. 297-314, 1982.
8. **ATIENZA O.; W. ANGB. AND C. TANG L.:** "Statistical Process Control and Forecasting", *International Journal of Quality Science*, Vol. 2, No. 1, pp. 37-51, 1997.
9. **XIE, M. AND L. HOS.:** "Analysis of Repairable System Failure Data Using Time Series Models", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 5, No. 1, pp. 50-61, 1999.
10. **MAKRIDAKIS, S.:** "Accuracy Measures: Theoretical and Practical Concerns", No. 9, pp. 527-529, 1993.



La Intranet del Laboratorio de Logística y Gestión de la Producción ofrece un conjunto de herramientas, informaciones y documentos para facilitar el estudio de la temática, así como para auxiliar al estudiante y al profesional en la toma de decisiones, el estudio, experimentación y diseño de los sistemas logísticos sobre la base de la máxima actualización con los más novedosos resultados de la investigación y la práctica logísticas.

Facultad de Ingeniería Industrial, Cujae