

**ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS APPLIED TO THE PREDICTION OF PRICES IN
ENERGY SPOT****REDES NEURONALES APLICADAS A LA PREDICCIÓN DE PRECIOS EN BOLSA DE
ENERGIA**

MSc. Eliana Mirledy Toro Ocampo*, **MSc Alejandro Garcés Ruiz****
MSc. Juan Carlos Galvis Manso***

Universidad Tecnológica de Pereira

* Docente Auxiliar **Facultad de Ingeniería Industrial**

** Docente Auxiliar **Programa de Ingeniería Eléctrica**

*** Estudiante **Universidad Estadual Paulista (Brasil)**

Vereda La Julita, Pereira, Risaralda, Colombia

Tel.: 57-6-3137122, Fax: 57-6-3137122

E-mail: {eliana, alejandrog, juangalvis }@ohm.utp.edu.co

Abstract: In this document it is presented the development and the implementation of a model to carry out monthly presage of prices in spot market of energy Colombian wholesaler using Artificial Neural Networks. The input data used were the previous month price of spot, the considered month, the data of the equivalent reservoir and the prospective demand. The training sets correspond to data from January 1998 until September 2005 with those the model validation was carried out. Results were obtained with a standard deviation of 10.65% .

Resumen: En este documento se presenta el desarrollo y la implementación de un modelo para realizar pronóstico mensual de precios en bolsa del mercado de energía mayorista colombiano usando redes neuronales artificiales. Los datos de entrada utilizados fueron el precio de bolsa del mes anterior, el mes considerado, los datos del embalse equivalente y la demanda esperada. El conjunto de entrenamiento corresponde a datos desde enero de 1998 hasta septiembre de 2005 con los que se realizó la validación del modelo. Se obtuvieron resultados con una desviación estándar de 10.65%.

Keywords: Energy spot, prediction, Artificial neural networks, Back propagation.

1. INTRODUCCION

La predicción del precio de bolsa es una información importante para la toma de decisiones por parte de las empresas de generación y comercialización de energía eléctrica. Una de las técnicas computacionales más importantes en el desarrollo de predicciones son las redes neuronales las cuales pertenecen a la familia de la inteligencia artificial utilizando un enfoque análogo al funcionamiento real del cerebro.

El desarrollo de una herramienta de predicción eficiente, es fundamental para las empresas generadoras, las cuales buscan vender su energía al mejor precio posible. A través de una adecuada predicción del precio de bolsa, los generadores pueden decidir en el corto o mediano plazo la cantidad de energía que será negociada por este medio y la cantidad que será negociada en contratos bilaterales. El precio de bolsa es una variable altamente volátil, sin embargo es posible realizar una predicción si se identifican algunas variables que influyen en su comportamiento y que

permiten establecer un conjunto de patrones de aprendizaje que pueden ser suministrados a una red neuronal.

Una red neuronal que desempeña el tipo de función requerido es una red no recurrente, es decir, aquella que a partir de un conjunto de entradas y de una adaptación de sus pesos permite obtener una respuesta. El entrenamiento más usual para este tipo de redes es el del tipo *back propagation*, el cual es utilizado para entrenar redes multicapa. Una red de tipo *back propagation* puede ser entrenada para representar una función multidimensional no lineal, la cual, en este caso es una función de predicción de precio.

Este trabajo presenta la aplicación de la red *back propagation* como una función de predicción de precio en bolsa, a continuación se presenta la manera como está estructurado este documento. En la primera parte se presentan las características básicas del mercado eléctrico colombiano, posteriormente se realiza una breve descripción de las redes neuronales indicando algunas de sus aplicaciones. Posteriormente se muestra la red neuronal utilizada y los resultados obtenidos. En la parte final se exponen las conclusiones de este documento.

2. EL MERCADO DE ENERGIA

Colombia desregularizó el sector eléctrico en julio de 1995, este proceso introdujo el concepto de bolsa en el despacho de las unidades generadoras; Existen diversos tipos de mercados en el sector eléctrico a saber:

- Mercado spot (bolsa).
- Contratos físicos.
- Contratos financieros.

El mercado colombiano es una mezcla entre el primero y el tercero en donde la energía puede ser transada entre generadores y comercializadores mediante contratos de mediano y largo plazo y la energía no pactada por esta vía es comercializada mediante la bolsa.

La bolsa de energía se convierte en reguladora de precios en la medida en que exista competencia en el mercado, no obstante, puede ser altamente volátil en tiempos de sequía debido al alto porcentaje de generación hidráulica del país. Como medio de cubrimiento al riesgo existen los contratos de mediano y largo plazo los cuales garantizan un precio fijo a los comercializadores de energía. Los contratos normalmente son de tipo financiero

por lo cual las centrales generadoras que no son despachadas deben comprar su energía en bolsa o por medio de nuevos contratos.

Es importante predecir el comportamiento de la bolsa en el mediano plazo para determinar la estrategia de compra y venta de contratos más adecuada para cada empresa.

El modelo de despacho colombiano se realiza bajo nodo único, es decir que no tiene en cuenta las restricciones de la red; las centrales generadoras despachadas centralmente, realizan una oferta auditada de precio y cantidad de energía, el centro nacional de despacho (CND) determina mediante predicción la demanda horaria del sistema, dicha demanda es abastecida por orden de mérito, es decir se despacha la totalidad de la generación ofertada de cada una de las centrales comenzando desde la más barata hacia la más costosa, la última planta en ser despachada fija el precio de bolsa y genera la cantidad necesaria para abastecer la demanda residual.

3. REDES NEURONALES ARTIFICIALES

El cerebro humano tiene varias características deseadas por cualquier sistema y esta es la razón por la que se ha incrementado el interés acerca del funcionamiento de las redes neuronales.

Las redes neuronales biológicas “aprenden” de la información disponible en su entorno y bajo ciertas condiciones exhiben la capacidad para generalizar más allá de la información con que fueron entrenadas, esta es la característica más importante que se busca implementar en las redes neuronales artificiales (RNA).

Por lo tanto, las RNA son modelos matemáticos que tratan de hacer una aproximación del funcionamiento del cerebro humano. Algunas aplicaciones exitosas de las redes neuronales son: procesamientos de imágenes y voz, reconocimiento de patrones, planeamiento, predicción, control y optimización [1,2,3].

Los computadores tradicionales se basan en la arquitectura de Von Neuman y procesan la información secuencialmente. Un computador serial consiste de un solo procesador que puede manipular instrucciones y datos que se localizan en la memoria. El procesador lee, ejecuta, una a una, las instrucciones en memoria. Este sistema serial es secuencial, todo sucede en una secuencia determinística de operaciones.

En contraste una red neuronal no es secuencial. La red neuronal no ejecuta instrucciones, esta responde en paralelo a las entradas que se le presentan. El resultado no se almacena en una posición de memoria, este consiste en el estado de la red cuando se logra el equilibrio. El conocimiento en una red neuronal no se almacena en instrucciones, el poder de la red está en su topología y en los valores de las conexiones (pesos) entre neuronas.

Las redes neuronales no ejecutan programas, las redes reaccionan, aprenden y se auto-organizan. En el entrenamiento supervisado de una red neuronal, se le presentan de manera repetitiva y sistemática una serie de entradas tipo con sus respectivas salidas, esta es una manera de establecer clases para las distintas entradas. Las redes neuronales procesan información simultáneamente utilizando el paralelismo masivo de procesadores elementales llamados neuronas, este paralelismo hace que las redes sean más robustas que las máquinas tipo Von Neuman, puesto que varias neuronas pueden fallar y la red continúa funcionando de forma aceptable, en contraste con un programa de computador que falla si se eliminan algunas líneas de código. Algunas de las características de las redes neuronales artificiales: son tolerantes a fallas, tienen alta capacidad de adaptación a nuevos ambientes, pueden manejar información difusa, con ruido o defectuosa, son altamente interconectadas y tienen un buen desempeño ante situaciones desconocidas.

El proceso de aprendizaje de una red neuronal, consiste en sintonizar sus pesos de tal forma que el comportamiento global de la red sea lo más adecuado posible. Para este proceso existen diferentes alternativas (algoritmos) [3, 6, 8], que dependen del tipo de red neuronal que se está utilizando, lo cual a su vez está asociado al tipo de datos y problema que se maneja.

Una vez la red neuronal ha sido entrenada, ya está lista para su operación. Lo que queda por realizar es validarla usando algún conjunto de prueba, es decir, información que no ha sido mostrada en la etapa de entrenamiento.

3.1 Operación de una red neuronal artificial

Considerando una red de tres capas, si su estructura topológica es $n-h-s$ significa que hay n nodos de entrada, h neuronas ocultas y s neuronas de salida. Los nodos de entrada reciben los valores a procesar x_j , con $j=1, \dots, n$, las neuronas ocultas

reciben las entradas x_j ponderadas por los pesos w_{ij} y *bias* b_i para generar las salidas y_i (salidas de cada neurona de la segunda capa) que se calculan como:

$$y_i = f_i \left(\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j + b_i \right) \text{ con } i=1, \dots, h$$

Donde $f_i(\cdot)$ es la función de transferencia de la neurona i .

Finalmente los nodos de salida hacen la suma ponderada de las salidas de las neuronas ocultas y posteriormente se aplica la función de activación para obtener las salidas de la red neuronal, es decir:

$$y_s = f_s \left(\sum_{i=1}^h w_{si} y_i + b_s \right) \text{ con } s=1, \dots, g$$

4. RED NEURONAL PROPUESTA

Los datos de entrada son:

- Mes a predecir (dato numérico entre 1 y 12).
- Precio de bolsa del mes anterior
- Porcentaje del embalse equivalente.
- Demanda esperada.

El dato mensual establece la estacionalidad de la red ya que es de esperarse un comportamiento análogo entre un mes determinado y el mismo mes del año siguiente.

El precio de bolsa del mes anterior determina la tendencia del mercado mientras que el porcentaje del embalse equivalente determina la tendencia hidrológica. La demanda esperada es altamente predecible por lo cual puede ser considerado como un dato de entrada dentro de la red.

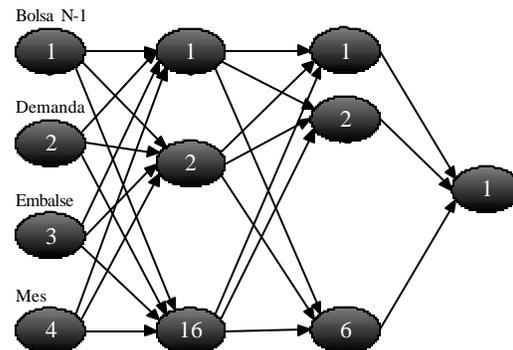


Fig. 1: Red neuronal diseñada

La literatura recomienda que en muchas aplicaciones es suficiente una red neuronal de tres capas, adicionalmente las neuronas de las capas internas deben ser mayores a el número de datos de entrada/salida; esto con el fin de que no se presente un estrangulamiento de la información.

A partir de las consideraciones anteriores, la red neuronal desarrollada consta de tres capas a saber: la primera capa con 16 neuronas de tipo tangente *sigmoidal*, la segunda con 6 neuronas de igual tipo y una última capa de salida de tipo *logsig*. El entrenamiento se muestra a continuación.

4.1 Algoritmo de entrenamiento

Una vez elegido el número de capas y las funciones de transferencias de cada capa se procede de la siguiente forma:

Hacia adelante:

1. Inicializar los pesos w_{ij} y los b_i de forma aleatoria.
2. Determinar la salida de la red para una condición de entrada.
3. Calcular el error con respecto a la salida esperada.

Hacia atrás.

4. Recalcular los valores de los w_{ij} y b_i .
5. Presentar un nuevo patrón de entrenamiento y regresar al paso 2.

En el algoritmo de entrenamiento mostrado el ajuste de los pesos se realiza utilizando el algoritmo *backpropagation* con *momentum h*, el cual, es una variante del algoritmo *backpropagation*, con el fin de brindarle más estabilidad a la convergencia del método.

Este proceso iterativo se debe realizar durante un número significativo de épocas hasta que algún criterio de convergencia determine que la red ha aprendido la información que se le ha mostrado. El criterio de convergencia (o criterio de parada) que se usa en esta aplicación es el error por época que se calcula como:

$$E_{av} = \frac{1}{2N_p} \sum_{l=1}^{N_p} e_l^2$$

$$N_p = N - k$$

Donde N_p representa el número total de patrones de entrenamiento. E_{av} representa el error promedio total cuando se han propagado todos los patrones de entrenamiento. Por lo tanto, cuando en el proceso de aprendizaje se obtiene un $E_{av} \leq E_{avmin}$ se detiene el proceso y se chequea el desempeño de la red.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Se tomaron datos del valor medio mensual de la bolsa de energía colombiana [4] desde enero de 1998 hasta septiembre de 2005. Los primeros datos fueron utilizados para el entrenamiento mientras que los últimos 12 datos son utilizados para mostrar la capacidad de generalización de la red.

Los datos fueron sometidos a un estudio de correlación encontrando una mayor relación entre el precio de bolsa del mes anterior y el precio del mes a predecir, no obstante, las demás entradas, aunque tienen menor impacto sobre el fenómeno en estudio, se tienen en cuenta ya que inciden indirectamente sobre el precio y contribuyen a mejorar la predicción.

La figura 2 presenta el precio de bolsa promedio registrado y la predicción encontrada por medio de la red. Desde luego, la predicción genera un error que es distribuido normalmente, en este caso la desviación estándar se convierte en un indicador de calidad de la red entrenada y cuyo cálculo arroja un valor de 10,65 %. El histograma de frecuencias del error encontrado se presenta en la figura 3, este indica que la mayor parte de las veces el error se encuentra por debajo de un 10,65 % lo cual es suficiente para establecer la tendencia de mediano plazo del mercado.

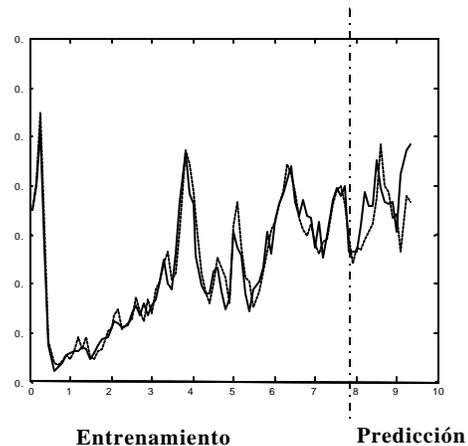


Fig. 2: Precio de bolsa

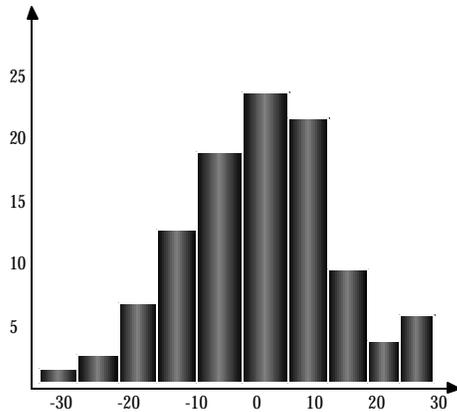


Fig. 3: histograma de frecuencia del error porcentual de la predicción

6. CONCLUSIONES

Se presentó un modelo de predicción de precios promedio de bolsa basado en una red neuronal de tres capas del tipo *back propagation*, la cual permite generar una tendencia de precios a mediano plazo.

Debido a la capacidad que poseen las redes neuronales de aprender ciertas características que presentan algunos fenómenos (en este caso el fenómeno es de tipo estacional) es posible hacer uso de ellas en problemas de predicción, donde la variable a estimar tiene un comportamiento variable pero con un patrón de comportamiento similar a lo largo del tiempo.

En el proceso de entrenamiento de una red neuronal es muy importante el criterio de parada, se debe tener en cuenta para lograr una buena generalización de la red neuronal a la hora de operar. Una de las formas de obtener una buena generalización es no ser tan rígido con el aprendizaje del conjunto de entrenamiento. Se pudo observar que cuando se tiene un error por época muy pequeño (menor que una tolerancia) la red no generalizó correctamente.

Los resultados muestran que es posible ajustar la predicción a través de redes neuronales y visualizan que un análisis y procesamiento más riguroso de los datos de entrada así como una búsqueda de mejores topologías permiten mejorar la precisión de pronóstico.

REFERENCIAS

- Delgado, Alberto. *Inteligencia artificial y minirobots*. ECOE Ediciones, 2da edición, Santafé de Bogotá, 1998.
- Hagan, Martín; Demuth, Howard and Beale, Mark. *Neural Network Design*. PWS publishing company, Boston, USA, 1996.
- Haykin, Simon. *Neural Network a comprehensive foundation*. 2nd Edition, Prentice-hall 1999.
- Hilera, José y Martínez, Víctor. *Redes neuronales artificiales, fundamentos modelos y aplicaciones*. Rama Editorial, Madrid, 1995.
- Looney, Carl G. *Pattern recognition using neuronal network*. Oxford University Press, New York, 1997.
- Widrow, Bernard; A. Lehr, Michael. *30 Years of Adaptive Neural Networks: Perceptron, Madaline and Backpropagation*. Proceedings of IEEE, Vol 78, No. 90, September 1990.

PAGINAS WEB

- <http://ohm.utp.edu.co/paginas/docencia/neuronales/>
- <http://www2.isa.com.co/>