

ANÁLISIS DEL PRECIO DEL CARBÓN MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA)

COAL PRICE ANALYSIS BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS (ANN)

GIOVANNI FRANCO-SEPÚLVEDA

Doctor (c), Profesor Universidad Nacional de Colombia gfranco@unal.edu.co

DANILO ARTURO VELILLA-AVILEZ

Ingeniero de Minas y Metalurgia. Universidad Nacional de Colombia, davelillaa@unal.edu.co

INGRID ESTEFANÍA VÉLEZ-JARAMILLO

Esp., Ingeniera de Minas y Metalurgia. Universidad Nacional de Colombia, ievelezj@unal.edu.co

Recibido para revisar: 28-Agosto-2013, Aceptado: 02-02-2014, versión final: 06-Mayo-2014.

RESUMEN: En el presente artículo se desarrolla el análisis aproximado para el precio FOB (*Free on Board*) del carbón térmico de Colombia para el periodo 2012-2020. Para la estimación se hizo uso del modelo de redes neuronales artificiales como fundamento metodológico del trabajo. Con el fin de comprender como se afecta el precio del *commodity* según la situación económica, política y social propia de cada espacio temporal, se realizó una revisión del comportamiento histórico del precio del carbón en el ámbito internacional y el contexto geopolítico en que se enmarcaron estos, identificando un ciclo de 32 años aproximadamente. Así mismo, se realizó un análisis del comportamiento del precio haciendo uso del Dow Jones Industrial Average (DJIA) y su relación con los precios nominales del carbón, y los precios reales deflactados a valor presente del año 2012. Posteriormente se obtiene la predicción de los precios usando el modelo predictivo generado por el algoritmo de redes neuronales utilizado, finalizando con las conclusiones obtenidas de acuerdo a los resultados arrojados.

Palabras clave: Carbón; red neuronal artificial; DJIA; ciclo; mercado.

ABSTRACT: This article develops the approximate analysis of the Free on Board Price (FOB) of thermal coal in Colombia for the period 2012-2020. For the estimation it was used the artificial neural networks model as a methodological foundation work. In order to understand how the price of the *commodity* is affected by the economic, political and social characteristics of each space-time, we review the historical behavior of the price of coal in the international scope and the geopolitical context in which these were framed, identifying a period of 32 years approximately. Likewise, an analysis of price behavior by using the DJIA index and its relation to the nominal prices of coal, and real prices deflacted to present value of 2012. Then we obtain the prediction of prices using the predictive model generated by the neural network algorithm used, ending with the approach of the conclusions obtained according to the results.

Key words: Coal; artificial neural network; DJIA; cycle; market.

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de las empresas mineras por tener conocimiento de los cambios que se pueden dar a través del tiempo en la operación al alterar una serie de variables sujetas a distintos factores, tanto internos como externos, ha incentivado el planeamiento de una mina basándose en el comportamiento de dichas variables teniendo en cuenta la incertidumbre de estas.

Trabajos de autores recientes como Gaytán & Benita (2014); Gutiérrez et al. (2013); Corzo & Franco (2012); Rojas (2010); Liao & Wang (2010); Yu-zhao (2009) entre otros, han intentado encontrar y desarrollar modelos alternativos que permiten determinar los precios de comercialización internacional del carbón térmico, utilizando diversas metodologías. La característica común que tienen estos trabajos es el desarrollo de proyecciones de los precios del carbón que se alejan de las proyecciones o métodos tradicionales que se han utilizado hasta el momento, es

decir, se presentan modelo heurísticos y meta heurísticos para determinar y/ o predecir los precios futuros de comercialización del carbón térmico.

Con este artículo se pretende desarrollar el análisis de una predicción aproximada para el precio FOB del carbón térmico de Colombia para el periodo 2012-2020, teniendo en cuenta el precio de carbón a través del tiempo, estudiando sus ciclos utilizando el modelo predictivo de redes neuronales, proporcionando a las empresas y al sector minero una herramienta que permita tomar decisiones.

2. CASO DE ESTUDIO

Para realizar un análisis del precio de carbón que se acople al contexto económico, político y social vivido actualmente, se considera pertinente observar cuál es el comportamiento del mercado del carbón, para así identificar el ciclo de los precios y la confianza en este mercado.

2.1. Comportamiento del mercado de carbón

A lo largo del siglo pasado y principios del presente, el carbón ha desempeñado un papel clave en el progreso de la industria alrededor del mundo, por lo que se espera una producción global de 7 mil millones de toneladas para el año 2030. Debido a que los costos de transporte representan una parte importante en el precio del carbón, la dinámica del mercado internacional del carbón está dividida en dos grandes zonas: el Atlántico y el Pacífico. La zona del Atlántico la constituyen los importadores de Europa Occidental, principalmente Reino Unido, Alemania y España. Mientras que la zona del Pacífico representa cerca del 60% del mercado mundial y la componen los países en desarrollo y países asiáticos de la *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico* (OCDE), resaltándose en este grupo países como Japón y Corea, *The Global Coal Market* (2009).

Entre los hechos mundiales que han tenido incidencia en el comportamiento del mercado del carbón se encuentran las crisis económicas de la década de los años 30 (La Gran Depresión), la década de los años 70 (La crisis del petróleo) y la desarrollada actualmente. Otros hechos importantes han sido la segunda guerra mundial y el cambio del papel que desempeñaba China en el año 2009 al pasar de exportador a ser importador de cerca de un 15% del carbón comercializado en el mundo, Morse and Gang (2010).

En la actualidad Colombia tiene las mayores reservas de carbón en América Latina y es carbón reconocido mundialmente por tener bajo contenido de cenizas y azufre y por ser alto en volátiles y en poder calorífico, UPME (2014) y EIA (2014).

2.2. Identificación del ciclo de los precios del carbón.

Al considerar la siguiente afirmación: “*Los ciclos son una característica dominante de los precios de los commodity*” (Cashin, 2002), se toman los precios nominales internacionales del carbón comprendidos entre los años 1928 – 2011, SANTA FE INSTITUTE (2007), y SIMCO, (2012), los cuales fueron deflactados a precios reales usando las tasas inflacionarias anuales de Estados Unidos, US INFLATION CALCULATOR (2012) mediante la ecuación (1).

$$P_{real} = P_{nom} \prod_{k=1}^n (1 + i_k) \quad (1)$$

Dónde:

P_{real} = Precio real.

P_{nom} = Precio nominal.

k = Periodo.

i_k = Tasa de interés en el periodo K.

Obteniéndose el comportamiento de los precios del carbón

como se observa en la Figura 1, en la que se puede apreciar un comportamiento cíclico, evidenciado por la distancia aproximadamente constante entre picos y valles de la curva. Nótese que la distancia (o ciclos de Kondratieff, Martínez, (2001)) entre los valles de los años 1932, 1967 y 2000 oscila entre 33 y 35 años, mientras que con los picos 1948, 1979 y 2011 oscila entre 30 y 33 años.

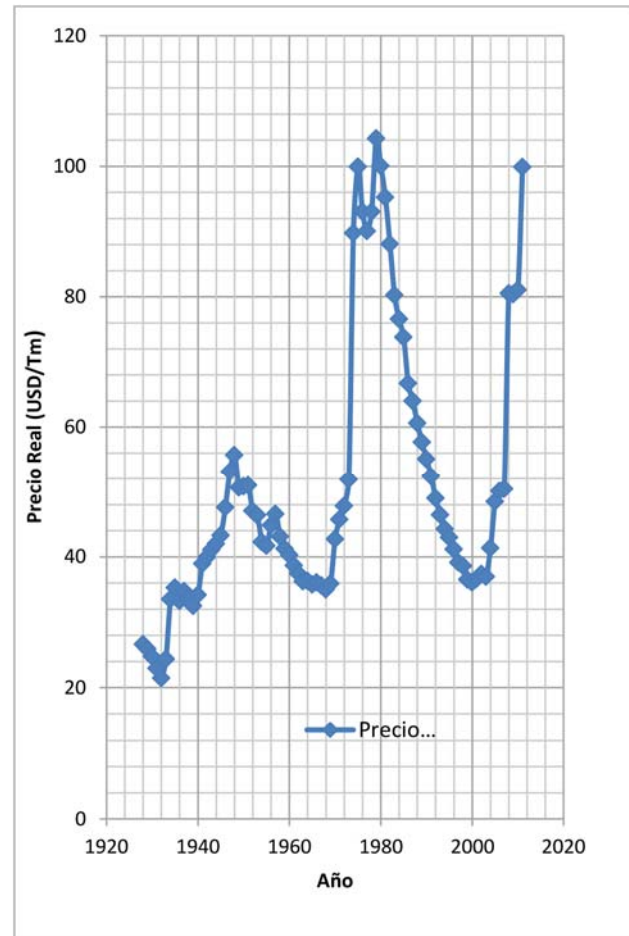


Figura 1. Variación de precios reales del carbón.

2.3. Confianza en el mercado del carbón.

Teniendo en cuenta que el numeral anterior, se ha demostrado que los precios del carbón presentan un ciclo. Es pertinente mostrar cual es la tendencia que se presenta en el mercado del carbón con respecto a índices bursátiles importantes que para objeto de esta investigación será el Dow Jones Industrial Average (DJIA). Es válido tener en cuenta que aunque la mayor cantidad de carbón que se exporta en Colombia tiene como destino el mercado europeo, se realizará la normalización con los datos históricos del DJIA.

Al realizar el cociente entre los precios anuales del DJIA y los precios nominales del carbón (CP) en el lapso de tiempo comprendido desde 1928 a 2011 de acuerdo con la Ecuación (2), se obtuvo el comportamiento de la demanda del carbón

de acuerdo a la situación del mercado, la cual puede ser observada en la Figura 2.

$$\frac{DJIA}{CP} \quad (2)$$

Nótese que en los picos más representativos que corresponden a los años 1929, 1966 y 2000 (inicios de las crisis económicas anteriormente mencionadas) se evidencian variaciones negativas en la confianza del sector financiero, por lo que se explica las alzas de los precios reales del carbón en los años posteriores a los tres mencionados, como se observa en la Figura 2.

Ahora, para obtener un análisis gráfico del comportamiento de los precios del carbón con respecto a la situación económica del mercado, se muestra en un mismo diagrama (Figura 3), el comportamiento de los precios reales con respecto al DJIA/CP aplicando un factor de escala a este último.

Obsérvese que en la Figura 3, en los años en los cuales los precios reales del carbón están en sus puntos más altos (máximos), se presentan valores mínimos en el comportamiento del DJIA/CP.

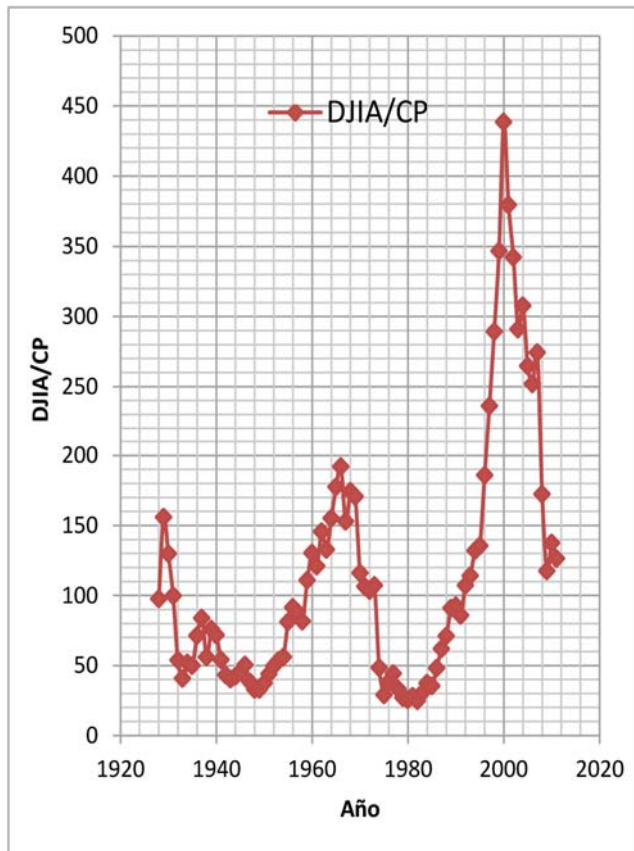


Figura 2. Comportamiento del DJIA/CP

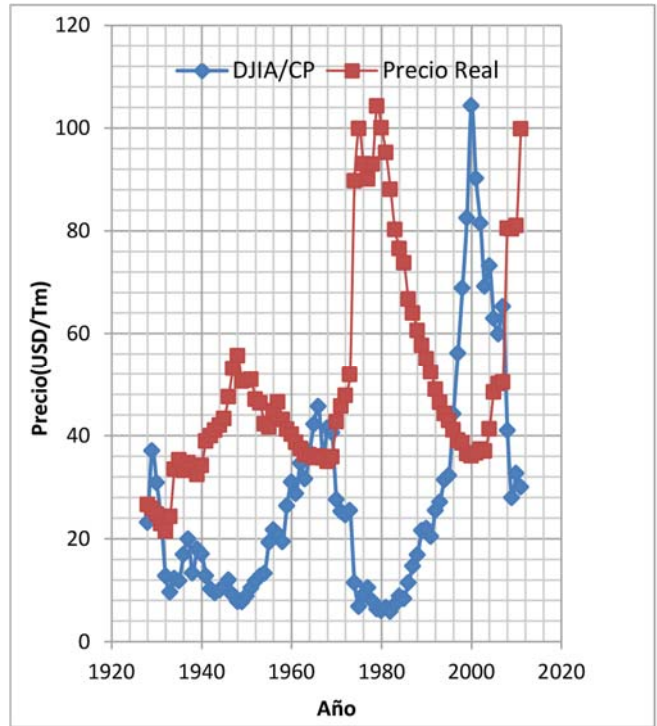


Figura 3. Comparación precio real vs DJIA/CP

3. RESULTADOS: PREDICCIÓN DE LOS PRECIOS DEL CARBÓN.

Teniendo en cuenta el comportamiento de los precios del carbón en el periodo de tiempo comprendido entre los años 1928-2011, se procede a la aplicación del método de RNA tratado con anterioridad.

En vista de que el carbón presenta ciclos cada 32 años aproximadamente, se pretende predecir el comportamiento de los precios del carbón a futuro en un tiempo conservador de nueve años. Los ajustes del modelo se realizaron con base a los precios reales del carbón que equivalen al año 2012 y el índice DJIA/CP.

Al realizar varias corridas se obtuvieron distintos resultados. A continuación se observa en la Figura 4 la gráfica que proporciona el mejor ajuste del modelo predictivo a la secuencia de datos.

Los parámetros correspondientes a este modelo de red neuronal son:

- a. Número de capas: 2
- b. No. de neuronas por capa: 20
- c. Desviación Relativa: 0,0106
- d. ECM (Error cuadrático medio): 58,70
- e. Desviación estándar: 7,66
- f. Coeficiente de variación (CV): 15%

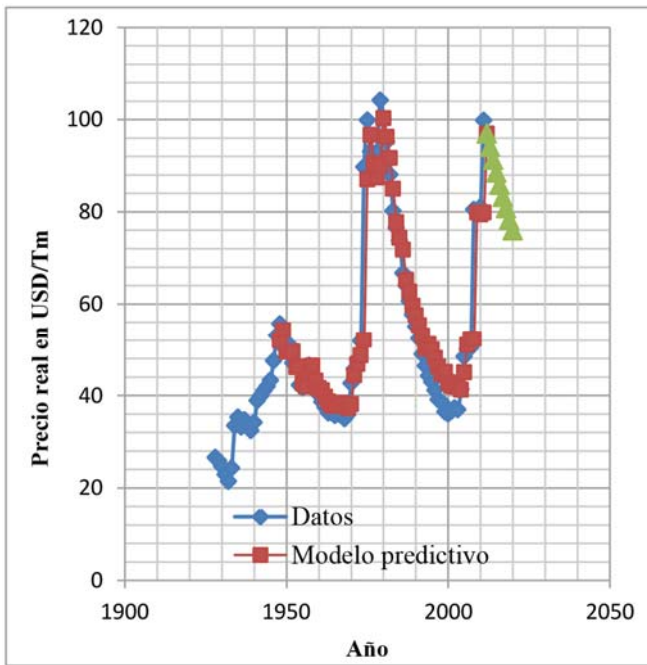


Figura 4. Predicción de precios reales del carbón

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede observar en la Figura 4, como la predicción de los precios entre los años 2012 y 2020 presenta un descenso constante, similar al ocurrido hacia el año 1979 y sus años siguientes, por lo que dado el carácter cíclico del precio del carbón en la historia era de esperarse que esto ocurriera, ya que trascurren 33 años tiempo que corresponde al ciclo de este commodity.

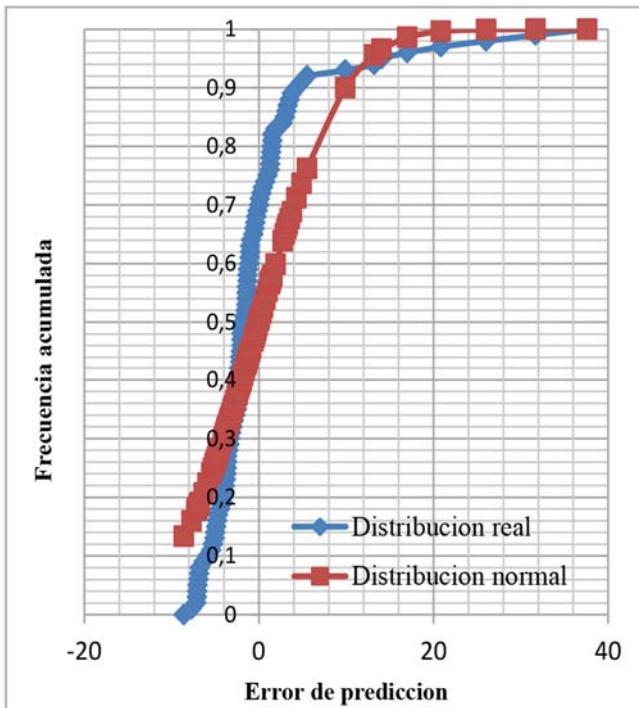


Figura 5. Distribuciones de probabilidad acumulada de errores

Una vez obtenido el modelo predictivo, se ejecuta la prueba de estadística conocida como chi cuadrado (χ^2), la cual determina si la variable error de predicción del precio tiene un comportamiento semejante al de la distribución normal con el fin de establecer un criterio de decisión y poder tomar el valor de la desviación estándar asociada a este, como el valor de variación del precio de la predicción.

Para esto se desarrolló la prueba con una significancia (α) del 5% para así determinar si los errores relativos de los datos disponibles de la muestra de los precios corresponden a la distribución, al realizar la prueba de bondad de ajuste se observó un acople apropiado a la distribución normal. A continuación, en la Figura se muestra el ajuste mencionado.

Los parámetros de decisión de χ^2 fueron los siguientes:

- a. χ_c^2 : 4,9
- b. V_p : 0,99
- c. α : 0,05

El valor V_p supera ampliamente a α lo que lleva a concluir que se acepta la hipótesis del comportamiento normal de los errores.

Los límites que definen los escenarios pesimista y optimista del comportamiento de los precios del carbón en los próximos 9 años, se estimaron teniendo en cuenta un nivel de confiabilidad del 95%, delimitando un intervalo donde la probabilidad de no ocurrencia del precio en este es de 5%.

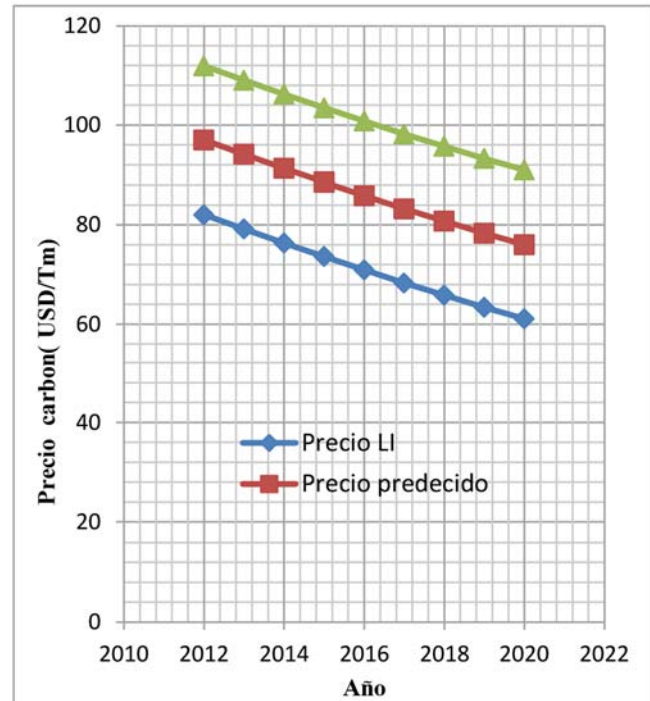


Figura 6. Escenario pesimista y optimista

Para la estimación de estos valores se recurrió a parámetros estadísticos y ecuaciones establecidas en Devore (2008). Tal como puede apreciarse en la $Xp \pm 1.95 \cdot \sigma$ (3), una vez se

concluyó esto se definieron los rangos con la desviación estándar de la predicción, obteniéndose intervalos de los escenarios del precio entre los escenarios pesimista y optimista calculados, como se detalla en la Ecuación 3 y se muestra en la Figura 6.

$$Xp \pm 1.95 * \sigma \quad (3)$$

Dónde:

Xp = Precio precedido

σ = Desviación estándar del modelo predictivo respecto a los datos reales.

$Z\alpha = 1.95$

4. CONCLUSIONES

Finalizado el análisis de los precios del carbón y obtenida una predicción, se observó un descenso del precio para el periodo 2012-2020, el cual es concordante con el carácter cíclico de los precios de este *commodity* en el último siglo, por lo que se evidencia una aproximación del modelo predictivo obtenido mediante RNA al comportamiento real de los precios. No obstante, el mercado del carbón está sujeto a situaciones de carácter político-económico a nivel mundial que afectan la variación del precio de este, como por ejemplo la alta demanda proyectada del carbón por parte de los países asiáticos categorizados como países de economías crecientes, la demanda para producción de energía eléctrica de las térmicas.

Es preciso resaltar de los resultados obtenidos, los precios para los años 2012 y 2020 en el escenario pesimista y optimista, los cuales son 112 USD/Tm (límite superior) y 61 USD/Tm (límite inferior) de los respectivos años, dado que evidencian una tendencia descendente de los precios dado una idea de su comportamiento durante los próximos nueve años.

Así mismo, se concluye que las redes neuronales son una herramienta útil en la elaboración de modelos predictivos, puesto que simulan el comportamiento real de una variable en un lapso de tiempo, siendo el recuerdo el instrumento que proporciona la inteligencia en su mecanismo para permitir la continuidad de la tendencia con gran precisión. Sin embargo, las predicciones que se obtienen con los modelos generados, en este caso la del precio, no se deben tomar como totalmente válidas puesto que nada garantiza que el comportamiento futuro de la variable este condicionado por los mismos factores externos que en el pasado, por tanto es una buena herramienta para tomar decisiones con un grado de confiabilidad mayor apoyado de probabilidades estadísticas.

AGRADECIMIENTOS

El grupo de Planeamiento Minero GIPLAMIN desarrolló este trabajo investigativo gracias al apoyo del *Patrimonio autónomo fondo nacional de financiamiento para la ciencia, la tecnología y la innovación, Francisco José de Caldas (COLCIENCIAS)* y la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

REFERENCIAS

- [1] Cashin, P., et al. "Booms and Slumps in World Commodity Prices". *Journal of development Economics*. Vol. 69. 2002. Page 277-296.
- [2] Corzo, W. y Franco, G. Implementación bajo incertidumbre de mercado del algoritmo de optimización Lerchs-Grossmann en depósitos de carbón. En: *Revista Boletín de Ciencias de la Tierra*. No. 33. Medellín, Julio de 2013. pp. 147-154
- [3] Devore, Jay L. *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. Séptima edición. International Thomson editores. 2008. Pág. 161-170 y 634-640.
- [4] Gaytán, E. y Benita, F. La industria minera en México: patrones de desempeño y determinantes de eficiencia. En: *Revista Lecturas de Economía*. No. 80. Medellín, enero-junio 2014. pp 103-131
- [5] Gutiérrez, M., Franco, G. y Campuzano, C. Gold prices: Analyzing its cyclical behavior. En: *Revista Lecturas de Economía*. No. 79. Medellín, julio-diciembre 2013. pp 113-142
- [6] Liao, Z. y Wang, J. Forecasting model of global stock index by stochastic time effective neural network. En: *Expert Systems with Applications*. No. 37 .201°. pp. 834–841
- [7] Martínez, J. Las Ondas Largas de Kondratieff. En: *Revista Laberinto*. No 5. Madrid, 2001. pp 1-12
- [8] Morse, Richard K and Gang, He. The world's greatest coal arbitrage: china's coal import behavior and implications for the global coal market. *Program on energy and sustainable development*.2010. Page 1 -21.
- [9] Rojas, C. Valoración de recursos Minerales bajo la teoría del desarrollo sostenible. En: *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia*. No. 13. Medellín, Julio de 2010. pp 65-75
- [10] Santa Fe Institute. Historical coal prices. En línea: tuvalu.santafe.edu/files/coal_electricity_data/OperMaint.xls. 2012. Disponible: 26/04/2012.
- [11] SIMCO. Precios del carbón. En línea: <http://www.simco.gov.co/simco/Estad%EDsticas/PreciosdelCarb%F3n/tabid/109/Default.aspx>. Disponible: 26/04/2012.
- [12] The global coal market. *The Coal Resource: A Comprehensive Overview of Coal*. Section Three. 2009. Page 13 -17.
- [13] U.S Energy Information Administration (EIA). Acceso: 03 de mayo de 2014. Disponible: <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=1&pid=7&aid=6>
- [14] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO). Acceso: 03 de mayo de 2014. Disponible: <http://www.simco.gov.co/>
- [15] US Inflation calculator. Historical Inflation Rates: 1914-2012. En línea: <http://www.usinflationcalculator.com/inflation/historical-inflation-rates/>.2012. Disponible: 26/04/2012.
- [16] Yu-zhao, F. et al. Price forecasting algorithm for coal and electricity based on PSO and RBF neural network. En: *Control and Automation*, 2009. ICCA 2009. IEEE. Pp. 1365 – 1369.

