

PREDICCIONES FINANCIERAS USANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA

**FINANCIAL FORECASTING USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS:
A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW**

Artículo de Revisión

Yamid Fabián Hernández Julio

Docente Investigador Universidad del Sinú
yamidhernandezj@unisinu.edu.co

Resumen: El uso de técnicas, métodos y procedimientos que ayuden al proceso de predicción de mercados financieros es una tarea que ha sido bastante estudiada y desarrollada en la última década. Dentro de estas técnicas se pueden encontrar diferentes enfoques, siendo el más común, el uso de inteligencia computacional. Dentro de este campo, se resaltan las redes neuronales artificiales, las cuales son sistemas altamente sofisticados de reconocimiento de patrones, capaces de aprender a través de la(s) relación(es) en los patrones insertados en la información (datos). El objetivo de esta investigación es conocer el estado del arte de los últimos 3 años respecto al uso de estas técnicas en predicciones financieras. Los resultados arrojan que la arquitectura de red neural artificial más usada es la Perceptron multicapa - MLP. Como conclusión general se puede decir que existe un gran interés en el uso de las metodologías basadas en Redes Neuronales Artificiales para la predicción de índices accionarios.

Palabras clave: Redes neuronales artificiales, híbrido, mercado accionario, Perceptrón multicapa

Abstract

The use of techniques, methods and procedures that help to the predicting financial markets's process is a task that has been well studied and developed in the last decade. Among these techniques can find different approaches, the most common, the use of computational intelligence. Within this research field, artificial neural networks are highlighted, which are highly sophisticated pattern recognition system, capable of learning through (s) relationship (s) in the patterns embedded in the information (data). The objective of this research is knowing the state of art of the past three years regarding the use of these techniques in financial forecasting. The results show that the most used artificial neural network's architecture is Multilayer Perceptron - MLP. As a general conclusion it can be said that there is great interest in the use of methodologies based on artificial neural networks for the prediction of stock indexes.

Keywords: Artificial Neural Networks, hybrid, stock market, Multi-Layer Perceptron.

Introducción

El uso de técnicas, métodos y procedimientos que ayuden al proceso de predicción de mercados financieros es una tarea que ha sido bastante estudiada y desarrollada en la última década. Dentro de estas técnicas se pueden encontrar diferentes enfoques, siendo el más común, el uso de inteligencia computacional. Dentro de este campo, se resaltan las redes neuronales artificiales.

Debido a esto, este trabajo de investigación propone la búsqueda, evaluación y recopilación de evidencias en el área que nos interesa. Siendo así, Kitchenham (2004, 2007) define este tipo de investigación (revisión sistemática de literatura) como un método cuyo objetivo principal es identificar, evaluar y analizar las fuentes de información primaria, para así dar respuesta a una pregunta específica de investigación. Este método proporciona información sobre las líneas de investigación existentes y permite identificar posibles vacíos de investigación para trabajos futuros. En este artículo Usted encontrará como primer tópico, la definición del tema que nos atañe (modelos de redes neuronales artificiales). Los siguientes tópicos son material y métodos, resultados, discusión y conclusiones obtenidas en esta investigación.

2. Modelo de redes neuronales artificiales

Las redes neuronales artificiales - RNA, son sistemas altamente sofisticados de reconocimiento de patrones, capaces de aprender a través de la(s) relación(es) en los patrones insertados en la información (datos). Estas redes neurales son conjuntos de algoritmos matemáticos aplicados en elementos procesuales (EPs) configurado para imitar la complejidad de los mecanismos no lineales y paralelos envueltos en la interpretación de información a través de la red neural biológica (Batchelor, Yang, & Tschanz, 1997; Tsoukalas & Uhrig, 1997).

En general, una red neural artificial es compuesta por varias unidades de procesamiento llamadas neuronas, cuyo funcionamiento es bastante simple. Las neuronas son conectadas por canales de comunicación que están asociados a un determinado peso (W), éstas a su vez, hacen operaciones apenas con datos locales, que son entradas recibidas por sus conexiones. Este tipo de modelo es adaptativo y entrenable, puede trabajar con dominios complejos (caso de problemas no lineales), no precisan tener la información completa para realizar su proceso de generalización, son robustos y poseen un gran paralelismo, por lo tanto, tienen rapidez de procesamiento (Von Zuben, 2003) haciendo posible la identificación de relaciones entre variables sin conocimiento a priori (Roush, Cravener, Kirby, & Wideman, 1997).

Para construir modelos con este tipo de tecnología, se deben usar conjuntos de pares de datos (entrada(s) o salida(s)) en la forma de vectores o matrices con el fin de entrenarla seleccionando la función de transferencia aplicada a cada interconexión entre dos neuronas, y, definir las reglas de aprendizaje a través del entrenamiento. La red neural artificial produce sus propios vectores de salida, los cuales son comparados con los vectores de salida del entrenamiento (entrenamiento supervisado). Si el grado de precisión entre la salida obtenida por la red y la salida del vector de entrenamiento no es satisfactorio, la red aplica las reglas de aprendizaje para ajustar los pesos en las interconexiones, y posteriormente, repite la comparación entre los dos vectores hasta que sea satisfecho el criterio de precisión propuesto por el usuario.

Existe una gran variedad de estrategias para el aprendizaje de las redes neurales, pero, el algoritmo más usado es el backpropagation (Barreto, 2002; Bishop, 1995; Dai, Wu, & Lu, 2012; Fausett, 1994; Hornik, Stinchcombe, & White, 1990; Karamouzis & Vrettos, 2008; Livieris, Drakopoulou, & Pintelas, 2012; Oladokun, Adebajo, & Charles-Owaba, 2008; Riedmiller & Braun, 1993; Von Zuben, 2011)

Matemáticamente, las redes neurales artificiales son aproximadores universales que llevan a cabo el mapeo entre dos espacios variables (Hornik et al., 1990) y se puede expresar la respuesta O_i de cada neurona i a las señales de entrada I_j de la conexión de la neurona j a través de la ecuación 1:

$$O_i = f\left(\sum I_j W_{ij} + B_i\right)$$

La función de transferencia puede ser una función lineal o no lineal. Las más usadas son las funciones sigmoideal y tangente hiperboidal (Bishop, 1995). El proceso de aprendizaje comienza con la inicialización de los pesos de manera aleatoria. Los errores asociados a las neuronas de la salida son transmitidos desde la capa de salida hasta la capa de entrada a través del algoritmo backpropagation, por lo tanto, para minimizar los errores, los pesos son ajustados al final de cada ciclo del algoritmo de entrenamiento (Bharath & Dorsen, 1994).

La arquitectura más usada comúnmente para desarrollar modelos de redes neurales artificiales es la perceptron multicapa - MultiLayer Perceptron o MLP en inglés. Esta arquitectura contiene tres capas diferentes: entrada(s), escondida u oculta y de salida (Barreto, 2002; Fausett, 1994; Von Zuben, 2011).

3. Material Y Métodos

La presente investigación estuvo enmarcada dentro de la creación del marco teórico o referencial del núcleo de estudios en "Inteligencia computacional aplicada a las Ciencias Económicas, Administrativas y Contables", la cual tuvo las siguientes etapas o fases:

3.1 Proceso de la búsqueda

Para la presente investigación fue utilizada la base de datos SCOPUS (2014). En un primer momento, llamado de pre-revisión, se pensó en encontrar información disponible para el tema de pronóstico del mercado de valores o bursátil a través del uso de redes neurales artificiales; a partir de esta premisa, se realizó una búsqueda inicial, se pensaron las palabras clave y las posibles referencias bibliográficas que podían aparecer dentro de la búsqueda de la base de datos. Para realizar dicha búsqueda, se deben usar palabras clave que ayuden a agilizar la misma. En este caso, las palabras utilizadas en esta investigación fueron: ("trading" OR "stock" AND "index" OR "market" AND "forecast" OR "predict" AND "Artificial Neural Network" OR "Neural Networks" OR "ANN").

La búsqueda fue restringida a las siguientes áreas de conocimiento: Economics, Econometrics and Finance; Business, Management and Accounting. El periodo considerado para realizar la búsqueda está comprendido entre enero de 2012 y octubre 31 de 2014.

3.2 Criterios de inclusión y exclusión de estudios.

En este apartado se incluyeron artículos que intentan pronosticar indicadores bursátiles mediante redes neurales artificiales. Fueron excluidos algunos artículos relacionados con el pronóstico de precios de acciones particulares.

3.3 Recolección y análisis de datos

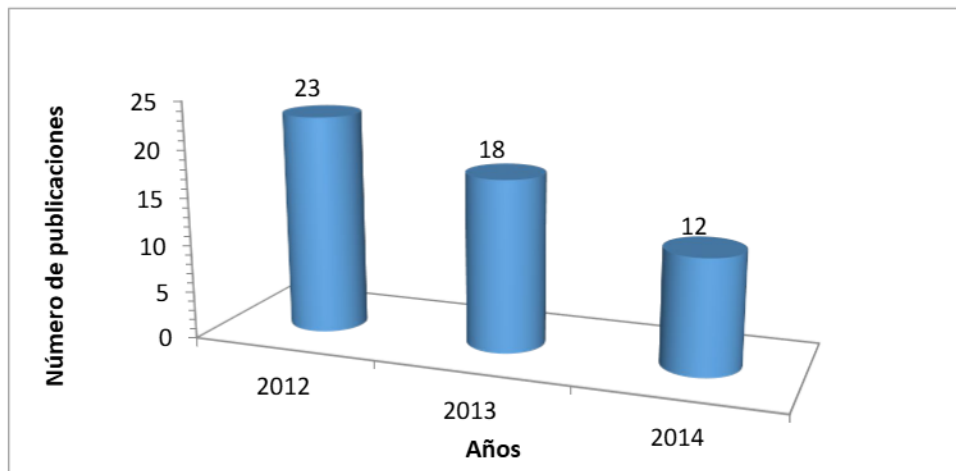
A continuación, se enumeran los datos que fueron extraídos de cada estudio:

1. Autores y año.
2. Título.
3. Tipo de publicación (artículo revista, ponencia, libro, etc.).
4. Propósito.
5. Metodología.
6. Variables de entrada.
7. Variables de salida.
8. Resultados.
9. Conclusiones.
10. Recomendaciones.
11. Citaciones.
12. Mercado de valores, como objeto de estudio.
13. Frecuencia (diaria, semanal, mensual, anual).
14. País del primer autor.

4. Resultados obtenidos

Al aplicar la metodología descrita en la sección anterior, se recuperaron de forma automática 53 artículos en el sistema de indexación SCOPUS; estos artículos se depuraron manualmente, lo que permitió la selección final de 14 documentos. Como se observa en la Figura 1, la producción de estudios disminuyó a cada año, resaltando que en el año 2012 fue donde se publicó la mayor cantidad de artículos (43% del total de los estudios seleccionados). En relación al mecanismo de difusión del conocimiento, puede observarse que la revista con mayor número de publicaciones con esta temática es Expert Systems with Applications, la cual publicó una gran parte de los artículos seleccionados (6 documentos en total - 11% de los artículos seleccionados), la segunda revista con mayor número de publicaciones fue Asia Pacific Management Review, con 2 artículos (4% de los artículos seleccionados), mientras que el resto de artículos fueron publicados en diferentes revistas. Cabe mencionar que de los 53 artículos seleccionados, 15 (28%) fueron difundidos mediante ponencias en congresos (Figura 2). Teniendo en cuenta la cantidad de citaciones se observa que 21 documentos (40%) han obtenido citaciones, mientras que los 32 documentos restantes (60%) no han sido citados ninguna vez. Continuando en este punto de vista, sobresale la revista Neurocomputing con el artículo más citado (9 veces), en segundo lugar están dos artículos empatados con 8 citaciones cada uno, las revistas son Applied Intelligence and Energy Economics, le siguen Expert Systems with Applications con dos artículos con 7 citaciones y 2 con 3 citaciones, lo que corresponde al 19% (4) de los artículos citados, convirtiéndose en la revista con mayor citación al tener los cuatro artículos más citados para el período analizado. Igualmente, se puede evidenciar una prolongación en la investigación sobre la temática abordada: para los 53 artículos seleccionados hay más de 53 autores diferentes; y de este total, cinco autores participan con cuatro artículos; los demás autores participan sólo con un artículo. La mayor parte del trabajo investigativo es realizado sobre información diaria (4 de los 14 estudios procesados hasta el momento), sobre información mensual fue reportado 1 artículo.

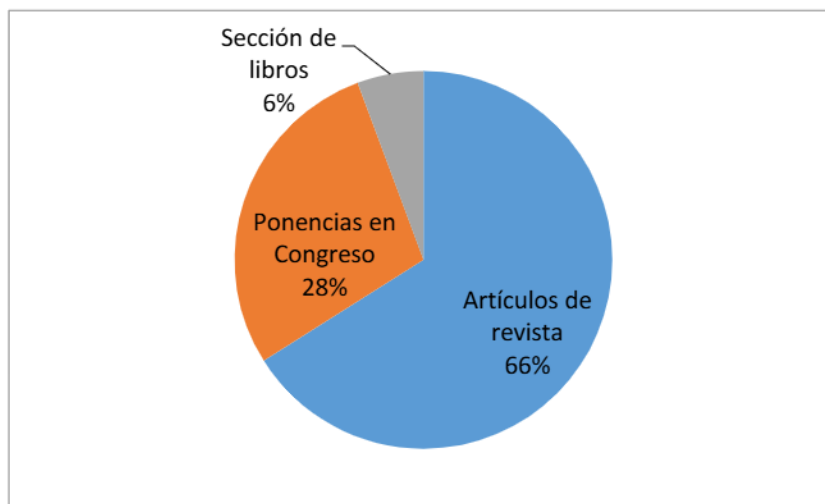
Figura 1. Número de publicaciones por año.



Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la búsqueda realizada en la base de datos SCOPUS, llama la atención que no aparece ningún autor colombiano, a pesar que existen trabajos realizados por autores colombianos como Arango and D Velasquez (2014), García, Jalal, Garzón, and López (2013). El motivo de este fenómeno puede estar relacionado con el hecho de que las revistas donde están publicados los trabajos no están indexadas en esta base de datos, por lo tanto, no las tiene en cuenta al momento de realizar su búsqueda.

Figura 2. Distribución de trabajos académicos publicados.



Fuente: Elaboración propia.

5. Discusión de la revisión sistemática de literatura

En esta sección se responden las siguientes preguntas de investigación:

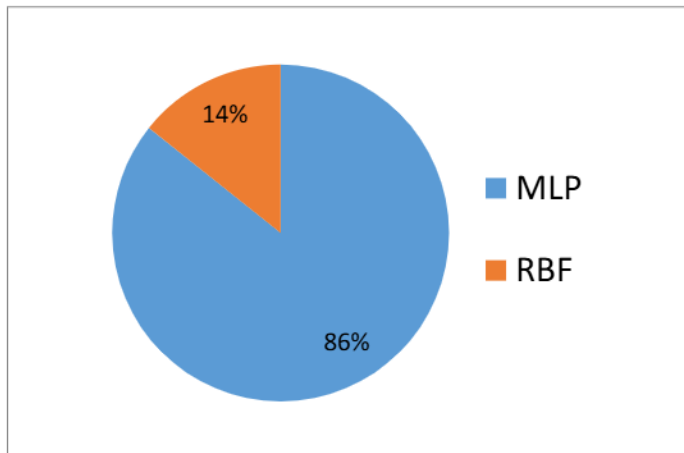
5.1 Pregunta 1: ¿Cuáles son las principales arquitecturas de redes neuronales artificiales que se han utilizado?

Dentro de los 14 artículos procesados en esta investigación, se encontraron diferentes arquitecturas de RNA aplicadas al pronóstico de índices accionarios, las cuales fueron:

- ✓ Multi Layer Perceptron - MLP: 12 trabajos (Abbassi, Aghaei, and Fard (2014); Abhishek, Khairwa, Pratap, and Prakash (2012); Adetiba, Ike, and Owolabi (2013); Babu and Reddy (2014); Bagherifard, Nilashi, Ibrahim, Janahmadi, and Ebrahimi (2012); Banik, Khan and Anwer (2012, 2014); P. C. Chang, Wang, and Zhou (2012); Y. H. Chang and Wang (2013); Dai et al. (2012); Yonghui Dai, Dongmei Han, and Weihui Dai (2014); De Oliveira, Nobre, and Zárate (2013); Džikevičius and Stabužyte (2012)).
- ✓ Función de Base Radial - RBF: 2 trabajos (Bagherifard et al. (2012); Akbilgic, Bozdogan, and Balaban (2014)).

Los porcentajes de los resultados encontrados pueden observarse en la figura 3. Cabe anotar que Bagherifard et al. (2012) trabajó con ambas arquitecturas, la MLP y la RBF, ya que el propósito de su estudio era comparar modelos de predicción del precio de las acciones. Los autores propusieron comparar dos tipos de RNA y un modelo de Auto-Regresión Integrado de Media Móvil - ARIMA.

Figura 3. Cantidad de arquitecturas encontradas en la literatura

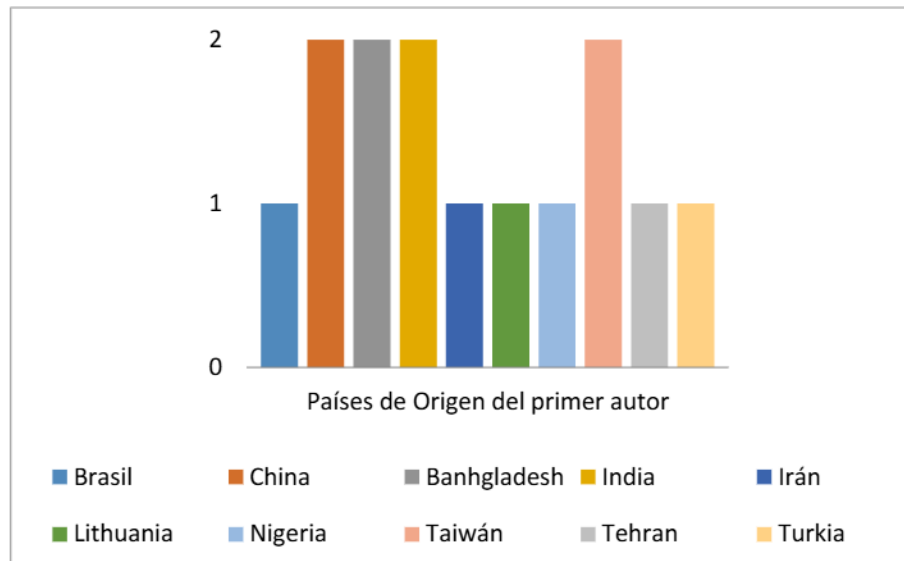


Fuente: Elaboración propia

5.2 Pregunta 2: ¿Qué países han trabajado y reportado estudios sobre predicciones financieras usando Redes neuronales artificiales?

A continuación se presenta la información relacionada con la pregunta anterior.

Figura 4. País del primer autor de los estudios procesados (14 documentos).



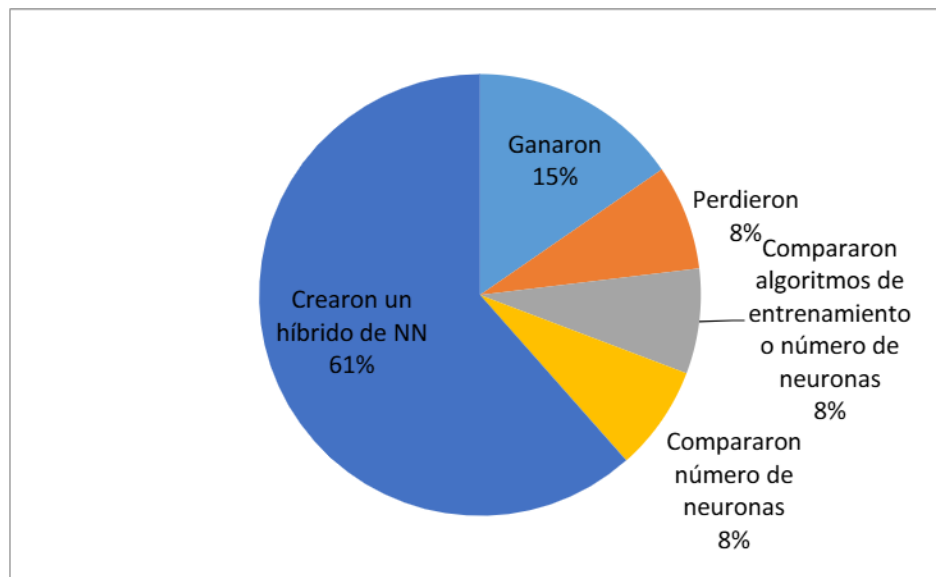
Fuente: Elaboración propia.

Los indicadores técnicos por mercado corresponden a los países de los cuales se han reportado estudios en la literatura. Ejemplo: País: Brasil, el indicador de mercado usado fue PETR4 de la compañía Petróleo Brasileiro - PETROBRAS.

5.3 Pregunta 3: De los estudios reportados sobre predicciones financieras usando Redes neuronales artificiales, ¿cuál ha sido el modelo más usado?

Independientemente de que la arquitectura de RNA más usada haya sido la Multi Layer Perceptron - MLP o Perceptron multicapas, existe una tendencia en el uso de RNA, tal como lo demuestra la figura 5, donde a pesar de la gran capacidad de aprendizaje - ventaja - que tienen las RNA, buscan más eficiencia aún con la ayuda de técnicas de procesamiento de datos diferentes a éstas. Son los llamados modelos híbridos. Dentro de éstas técnicas híbridas podemos encontrar los trabajos de Akbilgic et al. (2014), Babu and Reddy (2014), Banik et al. (2012, 2014), P. C. Chang et al. (2012), Y. H. Chang and Wang (2013), Dai et al. (2012) y Y. Dai, D. Han, and W. Dai (2014).

Figura 5. Categorías de clasificación de desempeño de las Redes Neuronales Artificiales - RNAs.



Fuente: Elaboración propia.

6. Conclusiones de la revisión sistemática de literatura

En este artículo fue consultado el estado del arte de la elaboración de estudios académicos relacionados con la predicción de los índices de mercados accionarios usando metodologías heurísticas, en este caso, basadas en redes neuronales artificiales; para cumplir con este objetivo, se empleó la metodología de revisión sistemática de literatura, la cual es un método de investigación basado en evidencias.

Los resultados parciales encontrados en esta investigación permiten concluir que:

- ✓ Existe un gran interés en el uso de las metodologías basadas en RNAs para la predicción de índices accionarios.
- ✓ Las evidencias reportadas demuestran que las técnicas de inteligencia computacional pueden arrojar pronósticos de igual o mayor precisión que las técnicas tradicionales (ARIMA, Regresión lineal o no lineal, entre otras). En este caso, de acuerdo a los resultados parciales del estudio, el uso de técnicas híbridas genera una mayor precisión que una sola técnica de inteligencia computacional.
- ✓ La investigación está concentrada en el uso de redes neuronales artificiales, pero existen otras metodologías competitivas que no han sido consideradas en las experiencias reportadas en la literatura más relevante.
- ✓ Para el caso de nuestro país, es de extrema necesidad que los estudios relacionados con predicciones financieras, sean publicados o por lo menos, se intenten publicar en revistas indexadas internacionalmente para dar a conocer la generación de conocimiento por parte de nuestros compatriotas que trabajan con la aplicación de la inteligencia computacional en sus diferentes áreas del conocimiento.

- ✓ Como trabajo futuro, se propone la necesidad inmediata de realizar estudios sobre la aplicación de técnicas híbridas en la predicción del mercado de valores de Colombia, el IGBC.

Referencias Bibliográficas

Abbassi, N. M., Aghaei, M. A., & Fard, M. M. (2014). An integrated system based on fuzzy genetic algorithm and neural networks for stock price forecasting: Case study of price index of Tehran Stock Exchange. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 31(3), 281-292.

Abhishek, K., Khairwa, A., Pratap, T., & Prakash, S. (2012). A stock market prediction model using Artificial Neural Network. Paper presented at the 2012 3rd International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies, ICCCNT 2012.

Adetiba, E., Ike, D. U., & Owolabi, F. O. (2013). An intelligent foreign exchange robot (i-Forexbot) development with scale conjugate gradient neural network. Paper presented at the Creating Global Competitive Economies: 2020 Vision Planning and Implementation - Proceedings of the 22nd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2013.

Akbilgic, O., Bozdogan, H., & Balaban, M. E. (2014). A novel Hybrid RBF Neural Networks model as a forecaster. *Statistics and Computing*, 24(3), 365-375.

Arango, A., & D Velasquez, J. (2014). Forecasting the Colombian Exchange Market Index (IGBC) using Neural Networks. *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, 12(4), 718-724.

Babu, C. N., & Reddy, B. E. (2014). A moving-average filter based hybrid ARIMA-ANN model for forecasting time series data. *Applied Soft Computing Journal*, 23, 27-38.

Bagherifard, K., Nilashi, M., Ibrahim, O., Janahmadi, N., & Ebrahimi, L. (2012). Comparative study of artificial neural network and ARIMA models in predicting exchange rate. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4(21), 4397-4403.

Banik, S., Khan, A. F. M. K., & Anwer, M. (2012). Dhaka stock market timing decisions by hybrid machine learning technique. Paper presented at the Proceeding of the 15th International Conference on Computer and Information Technology, ICCIT 2012.

Banik, S., Khan, A. F. M. K., & Anwer, M. (2014). Hybrid machine learning technique for forecasting dhaka stock market timing decisions. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2014.

Barreto, J. M. (2002). *Introdução às redes neurais artificiais: Escola regional de informática da SBC*.

Batchelor, W. D., Yang, X. B., & Tschanz, A. T. (1997). Development of a neural network for soybean rust epidemics. *Transactions of the ASAE, Saint Joseph*, 40(1), 247-252.

- Bharath, R., & Dorsen, J. (1994). *Neural network computing*. New York: McGraw-Hill.
- Bishop, C. M. (1995). *Neural Networks for pattern recognition*. Oxford: Clarendon Press.
- Chang, P. C., Wang, D. D., & Zhou, C. L. (2012). A novel model by evolving partially connected neural network for stock price trend forecasting. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 611-620.
- Chang, Y. H., & Wang, S. C. (2013). Integration of evolutionary computing and equity valuation models to forecast stock values based on data mining. *Asia Pacific Management Review*, 18(1), 63-78.
- Dai, W., Wu, J. Y., & Lu, C. J. (2012). Combining nonlinear independent component analysis and neural network for the prediction of Asian stock market indexes. *Expert Systems with Applications*, 39(4), 4444-4452.
- Dai, Y., Han, D., & Dai, W. (2014). Modeling and computing of stock index forecasting based on neural network and Markov chain. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Dai, Y., Han, D., & Dai, W. (2014). Modeling and Computing of Stock Index Forecasting Based on Neural Network and Markov Chain. *The Scientific World Journal*, 2014, 9. doi: 10.1155/2014/124523
- De Oliveira, F. A., Nobre, C. N., & Zárate, L. E. (2013). Applying Artificial Neural Networks to prediction of stock price and improvement of the directional prediction index - Case study of PETR4, Petrobras, Brazil. *Expert Systems with Applications*, 40(18), 7596-7606.
- Dzikevičius, A., & Stabužyte, N. (2012). Forecasting OMX vilnius stock index - a neural network approach. *Business: Theory and Practice*, 13(4), 324-332.
- Elsevier B.V. (2014). SCOPUS - An eye on global research. Abstract and citation database of peer-reviewed literature: scientific journals, books and conference proceedings. Retrieved 28 Oct, from Elsevier B.V. available in: <http://www.scopus.com/>
- Fausett, L. (1994). *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications*: Prentice Hall International Edition.
- García, M. C., Jalal, A. M., Garzón, L. A., & López, J. M. (2013). Ecos de Economía, Año 17(37), 51-82.
- Hornik, K., Stinchcombe, M., & White, H. (1990). Universal approximation of an unknown mapping and its derivatives using multilayer feedforward networks. *Neural Networks*, 3(5), 551-560. doi: 10.1016/0893-6080(90)90005-6
- Karamouzis, S. T., & Vrettos, A. (2008, October 22 - 24). An Artificial Neural Network for Predicting Student Graduation Outcomes Paper presented at the World Congress on Engineering and Computer Science, San Francisco, USA.

Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews Joint technical report (Vol. 33, pp. 1-28). Empirical Software Engineering National ITC Australia Ltd (Australia): Department of computer sciences, Keele University (UK).

Kitchenham, B. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering Technical report, EBSE Technical Report EBSE-2007-01 (pp. 1-57). Keele (UK): Keele University.

Livieris, I. E., Drakopoulou, K., & Pintelas, P. (2012). Predicting students' performance using artificial neural networks. Paper presented at the Actas de la octava Conferencia Papers Panhelénico Internacional "Tecnologías de la Información y la Comunicación en la Educación", Volos.

Oladokun, V. O., Adebajo, A. T., & Charles-Owaba, O. E. (2008). Predicting Students' Academic Performance using Artificial Neural Network: A Case Study of an Engineering Course. . The Pacific Journal of Science and Technology, 9(1), 72-79.

Riedmiller, M., & Braun, H. (1993). A direct adaptive method for faster backpropagation learning: The Rprop algorithm. Paper presented at the IEEE International Conference on Neural Networks, San Francisco, CA.

Roush, W. B., Cravener, T. L., Kirby, K. Y., & Wideman, R. F. J. (1997). Probabilistic Neural Network Prediction of Ascites in Broilers Based on Minimally Invasive Physiological Factors. Poultry Science, 76, 1513-1516.

Tsoukalas, L., & Uhrig, R. E. (1997). Fuzzy and neural approaches in engineering. New York: Wiley Interscience.

Von Zuben, F. J. (2003). Uma caricatura funcional de redes neurais artificiais. Revista da Sociedade Brasileira de Redes Neurais, 1(2), 66-76.

Von Zuben, F. J. (2011). Introdução às redes neurais artificiais. Retrieved 20 de mayo, 2014, from ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/vonzuben/ea072_2s11/topico1_1_EA072_2s2011.pdf