

TÉCNICAS DE LÓGICA DIFUSA EN LA PREDICCIÓN DE ÍNDICES DE MERCADOS DE VALORES: UNA REVISIÓN DE LITERATURA*

Adriana Arango**
Juan D. Velásquez***
Carlos J. Franco****

Recibido: 03/02/2012

Aceptado: 07/05/2013

RESUMEN

El pronóstico de índices de mercados de valores es una tarea importante en ingeniería financiera, porque es una información necesaria para la toma de decisiones. Este estudio tiene como objetivo evaluar el estado del arte en el progreso del pronóstico del mercado de valores, usando metodologías basadas en sistemas de inferencia borrosa y redes neuronales neuro-difusas, enfatizando el caso del Índice General de la Bolsa de Colombia (IGBC). Se empleó la revisión sistemática de literatura para responder cuatro preguntas de investigación. Existe una tendencia importante sobre el uso de las metodologías basadas en inferencia difusa para predecir los índices de los mercados de valores, explicada por la precisión del pronóstico en comparación con otras metodologías tradicionales. La mayoría de las investigaciones se enfocan en metodologías de “series de tiempo difusas” y ANFIS, pero, hay otras aproximaciones prometedoras que no han sido evaluadas aún. Existe un vacío de investigación en el caso del mercado accionario colombiano.

Palabras clave: revisión sistemática de literatura; series de tiempo no lineales; índice de acciones; lógica difusa; ANFIS.

* Artículo de investigación científica y tecnológica. Es producto del Trabajo Final de Maestría titulado “Pronóstico del Índice General de la Bolsa de Valores de Colombia (IGBC) usando modelos de inferencia difusa”, realizado por la Ing. Adriana Arango.

** Estudiante, Maestría en Ingeniería Administrativa, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Ingeniera Electrónica, Escuela de Ingenierías, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia (2008). Correo electrónico: adarangolo@unal.edu.co

*** Doctor en Ingeniería, Área de Sistemas Energéticos, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia (2009); Magister en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia (1997); Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín, Colombia). Correo electrónico: jdvelasq@unal.edu.co.

**** Doctor en Ingeniería-Área Sistemas Energéticos, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia (2002); Magister en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia (1996). Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín, Colombia). Miembro del grupo de investigación “Sistemas e Informática”. Dirección de correspondencia: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín, Colombia. Correo electrónico: cjfranco@unal.edu.co.

FUZZY LOGIC TECHNIQUES FOR STOCK MARKET INDEXES FORECASTING: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

Market index forecasting is an important task in financial engineering because it is a necessary and important input in decision making. This study aims to assess the state of the art on the progress of market index forecasting using methodologies based on fuzzy inference and neuro-fuzzy neural networks, emphasizing the case of the Colombian stock market index (IGBC). We employed the systematic literature review methodology to answer four research questions. There is an important trend about the use of methodologies based on fuzzy inference for forecasting market indexes, explained by the accuracy of the forecasts in comparison with other traditional methodologies. Most of the research is focused on “fuzzy time series” methodologies and ANFIS, but, there are other promising approaches that have not been evaluated yet. There is a lack of research on the forecasting of the Colombian stock market index.

Key words: Systematic literature review; nonlinear time series; stock indexes; fuzzy logic; ANFIS.

INTRODUCCIÓN

El pronóstico de la evolución de los precios de las acciones es un tópico de gran interés en el área financiera [1]. Estos pronósticos son un insumo fundamental para los sistemas de apoyo a la toma de decisiones, ya que son la base para la formulación de estrategias de operación en el mercado de valores que, a su vez, conducen al logro de beneficios económicos [2]. No obstante, la preparación de pronósticos y la formulación de estrategias de operación son tareas bastante difíciles debido a la complejidad de los mercados de valores [3].

En la literatura se han presentado diferentes aproximaciones a este problema de predicción, las cuales que pueden clasificarse dependiendo de la variable pronosticada y la metodología empleada; es así como se encuentran trabajos que pronostican el nivel de los precios [4], los rendimientos de los precios [2], o el signo de los rendimientos [5]. Las metodologías reportadas en la literatura se basan, principalmente, en modelos econométricos y estadísticos [6], en modelos de computación blanda (tales como las redes neuronales artificiales [7-9] o la lógica difusa) y en modelos híbridos que combinan diferentes aproximaciones. El uso de técnicas de inteligencia computacional está fundamentado en las evidencias empíricas que muestran que dichas técnicas pueden producir predicciones más precisas que las metodologías convencionales [7-9]

Consecuentemente con lo anterior, los métodos basados en lógica difusa han ganado mucha popularidad (ver [10, 11]). Diferentes mercados financieros internacionales, como el S&P500, el NYSE, el FTSE100, entre otros, han sido tomados como casos de aplicación en diversos estudios, donde además de pronosticar la evolución del índice accionario, se analiza el beneficio de la aplicación del modelo propuesto en términos financieros.

Sin embargo, la revisión más reciente (ver [11]) sobre esta temática analiza únicamente hasta las publicaciones realizadas en el año 2008, de

tal forma que no es posible obtener una visión global sobre más avances ni sobre la importancia que ha tomado este tópico de investigación; por ende, surge la necesidad de realizar una revisión sistemática de literatura, con el fin de sintetizar y analizar el material disponible, para determinar los principales aportes y contribuciones reportados en la literatura más reciente.

Respecto al caso colombiano, existen, comparativamente, pocos trabajos sobre el tema. En [12], se estudia el comportamiento de los retornos del IBB, IBOMED y el IGBC usando un modelo STAR-GARCH y se concluye que el mercado no es eficiente en información. En [13], se concluye que el pronóstico del IGBC usando redes neuronales es más preciso que el usado utilizando modelos de tendencia o crecimiento. En [14], se estudia la dinámica del IGBC usando un modelo EGARCH. Finalmente, en [15], se utiliza un modelo TGARCH para pronosticar los rendimientos del IGBC usando datos de alta frecuencia, el cual tiene en cuenta el patrón del día de la semana y el comportamiento asimétrico de la varianza. Así, el análisis presentado permite concluir que no hay trabajos que reporten el pronóstico de los rendimientos del mercado accionario colombiano mediante sistemas de inferencia borrosa y neuro-difusos.

Por lo tanto, es necesario establecer las tendencias de investigación en estas metodologías. Consecuentemente, el objetivo de este trabajo es responder las siguientes preguntas de investigación sobre los mercados accionarios:

- P1: ¿Cuáles son los principales sistemas de inferencia borrosa y neuro-difusos que se han utilizado recientemente?
- P2: ¿Cuáles casos de aplicación (indicador y mercado) se han reportado sobre el pronóstico usando técnicas de inferencia borrosa y neuro-difusos?
- P3: ¿Qué conclusiones se han reportado en los estudios?

Este trabajo está organizado de la siguiente forma: en la sección 1 se describe la metodología de revisión sistemática de literatura. En la sección 2 se describen y discuten los resultados obtenidos. En la sección 3 se responden las preguntas de investigación. Finalmente se concluye en la sección 4.

1 METODOLOGÍA DE LA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA

La revisión sistemática de literatura es un método de investigación, cuyo objetivo principal es identificar, evaluar y analizar las fuentes de información primaria, para así dar respuesta a una pregunta específica de investigación [16]. Mediante el proceso de búsqueda, evaluación y recopilación de evidencias en el tópico de interés, la revisión sistemática de literatura proporciona información sobre las líneas de investigación existentes y permite identificar posibles vacíos de investigación para trabajos futuros [16].

1.1 Proceso de la búsqueda

Para realizar la búsqueda se utilizó el sistema de indexación SCOPUS. En el proceso de pre-revisión, se concentró en encontrar la información disponible para el tema de pronóstico del mercado de valores; a partir de esta búsqueda inicial, se extrajeron palabras clave, referencias bibliográficas, así como artículos de interés. Las palabras clave utilizadas fueron:

(“trading”OR(“stock”AND(“index”OR“mark
et”)))AND((“forecast”OR“predict”) AND (“fuzzy”))

La búsqueda fue restringida a las siguientes áreas de conocimiento: decision sciences; computer science; economics, econometrics and finance; business, management and accounting.

El período considerado para realizar la búsqueda está comprendido entre enero de 2008 y noviembre de 2011.

1.2 Criterios de inclusión y exclusión de estudios

Se incluyeron los artículos que cubren el pronóstico de los indicadores bursátiles mediante lógica difusa,

sistemas de inferencia borrosa y sistemas neuro-difusos. Se excluyeron los artículos relacionados con el análisis fundamental o que se pronostiquen los precios de acciones particulares.

1.3 Recolección y análisis de datos

Los datos extraídos de cada estudio fueron:

- Fecha de publicación.
- Autores.
- Revista.
- Técnica utilizada.
- Mercado de valores, como objeto de estudio.
- Series de datos financieras.
- Indicadores bursátiles.
- Cantidad de citas del artículo.

2 RESULTADOS OBTENIDOS

Al aplicar la metodología descrita en la sección anterior, se recuperaron de forma automática 44 artículos en el sistema de indexación SCOPUS; estos artículos se depuraron manualmente, lo que permitió la selección final de 25 documentos, los cuales son reportados en la tabla 1.

En la figura 1 se presenta la cantidad de artículos por año de publicación. Se observa que la producción de estudios se incrementa en cada

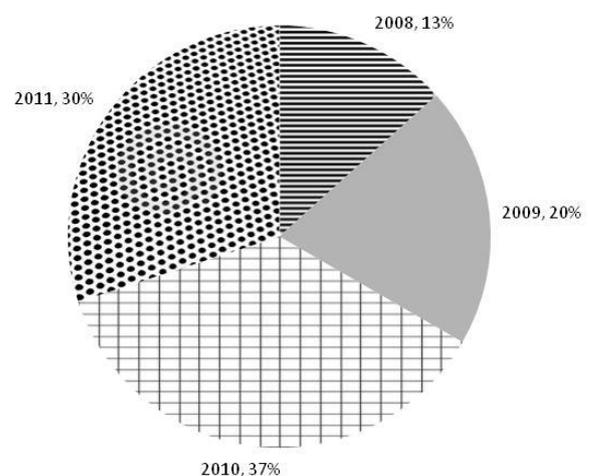


Figura 1: Distribución de los artículos por año de publicación

Fuente: elaboración propia

Tabla 1: artículos seleccionados ordenados por cantidad de citaciones

<i>Autores y año</i>	<i>Título</i>	<i>Metodología</i>	<i>Citaciones</i>	<i>Mercado accionario</i>	<i>Frecuencia</i>
Yu y Huarng [17], 2008	A bivariate fuzzy time series model to forecast the TAIEX.	Fuzzy	34	TAIEX (Taiwan)	Diario
Cheng et al. [27], 2008	Fuzzy time-series based on adaptive expectation model for TAIEX forecasting.	Fuzzy	29	TAIEX (Taiwan)	Mensual
Atsalakis y Valavanis [37], 2009	Forecasting stock market short-term trends using a neuro-fuzzy based methodology.	ANFIS	26	NYSE (New York)	Diario
Chu et al. [24], 2009	Fuzzy dual-factor time-series for stock index forecasting	Fuzzy	18	TAIEX (Taiwan), NASDAQ (New York)	Anual
Teoh et al. [26], 2008	Fuzzy time series model based on probabilistic approach and rough set rule induction for empirical research in stock markets.	Fuzzy	14	NYSE (New York), TAIEX(Taiwan)	Mensual
Kuo et al. [23], 2010	Forecasting TAIEX based on fuzzy time series and particle swarm optimization	Fuzzy	5	TAIFEX (Taiwan)	Diario
Boyacioglu y Avci [35], 2010	An Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS) for the prediction of stock market return: The case of the Istanbul Stock Exchange.	ANFIS	3	ISE Nacional 100 Index	Mensual
Ansari et al. [39], 2010	Sequential combination of statistics, econometrics and Adaptive Neural-Fuzzy Interface for stock market prediction.	ANFIS	3	NASDAQ (New York)	Diario
Chang et al. [32], 2011	A hybrid ANFIS model based on AR and volatility for TAIEX forecasting.	ANFIS	2	TAIEX (Taiwan)	Diario
Yu y Huarng [21], 2010	A neural network-based fuzzy time series model to improve forecasting.	Fuzzy	2	TAIEX (Taiwan)	Diario
Chen y Chen [31], 2011	TAIEX Forecasting Based on Fuzzy Time Series and Fuzzy Variation Groups.	Fuzzy	1	TAIEX (Taiwan)	Diario
Lee y Lim [22], 2011	Forecasting KOSPI based on a neural network with weighted fuzzy membership functions.	Fuzzy	1	KOSPI (Corea del Sur)	Diario
Bekiros [38], 2010	Fuzzy adaptive decision-making for boundedly rational traders in speculative stock markets	ANFIS	1	S&P500 and NYSE, FTSE100 (UK), CAC40 (France), KLCI (Malaysia), Stock Exchange Weighted (Taiwan), HangSeng (Hong Kong), Jakarta Stock Exchange Composite (Indonesia), Straits Times (New) (Singapore) and SET 100 Basic Industries (Thailand)	Diario
Abdullah y Ling [18], 2011	A fuzzy time series model for Kuala Lumpur Composite Index forecasting	Fuzzy	0	KLCI (Malaysia)	Semanal
Qiu et al. [19], 2011	A generalized method for forecasting based on fuzzy time series	Fuzzy	0	SHI (Shangai)	Diario

<i>Autores y año</i>	<i>Título</i>	<i>Metodología</i>	<i>Citaciones</i>	<i>Mercado accionario</i>	<i>Frecuencia</i>
Bai et al. [20], 2011	A heuristic time-invariant model for fuzzy time series forecasting.	Fuzzy	0	TAIFEX (Taiwan)	Diario
Wei et al. [33], 2011	A hybrid model based on adaptive-network-based fuzzy inference system to forecast Taiwan stock market.	ANFIS	0	TAIEX (Taiwan)	Mensual
Nair et al. [34], 2010	A Stock Market Trend Prediction System Using a Hybrid Decision Tree-Neuro-Fuzzy System.	ANFIS	0	BSE-SENSEX (India), FTSE 100 (Londres), NASDAQ 100 (New York), NIKKEI 225 (Japón)	Diario
Esfahani-pour y Mardani [36], 2011	An ANFIS model for stock price prediction: The case of Tehran stock exchange	ANFIS	0	TEPIX (Tehran Iran)	Diario
Hwang y Oh [25], 2010	Fuzzy models for predicting time series stock price index.	Fuzzy	0	KOSPI (Corea del Sur)	Diario y semanal
Chen y Chen [28], 2011	Handling forecasting problems based on high-order fuzzy logical relationships.	Fuzzy	0	TAIEX (Taiwan)	Diario
Parisi et al. [41], 2006	Modelos de lógica y lógica borrosa en la predicción del IPSA.	Fuzzy	0	IPSA (Chile)	Semanal
Cheng et al. [29], 2011	Multi-factor fuzzy time series model based on stock volatility for forecasting taiwan stock index	Fuzzy	0	TAIEX (Taiwan), NASDAQ (New York)	Diario
Chen y Tanuwijaya [30], 2011	Multivariate fuzzy forecasting based on fuzzy time series and automatic clustering techniques	Fuzzy	0	TAIEX (Taiwan)	Diario
Bekiros [40], 2011	Sign Prediction and Volatility Dynamics With Hybrid Neurofuzzy Approaches	ANFIS	0	FTSE100 (Londres), NYSE (New York)	Diario

Fuente: elaboración propia

año, resaltando que para el período comprendido desde enero de 2010 hasta diciembre de 2011, se publicó la mayor cantidad de artículos (67 % del total de los estudios seleccionados).

En relación con el mecanismo de difusión, se observa que la revista *Expert Systems with Applications* publicó la mayoría de artículos seleccionados (14 documentos en total), mientras que 8 artículos fueron publicados en otras revistas y 3 fueron difundidos mediante ponencias en congresos.

Respecto a la cantidad de citas, se observa que 12 documentos no han obtenido ninguna citación, y que los 13 restantes han sido citados al menos una vez. Desde este punto de vista, sobresale

la revista *Expert Systems with Applications* al tener los cuatro artículos más citados para el período analizado.

Igualmente, se evidencia una continuidad en la investigación sobre la temática abordada: para los 25 artículos seleccionados hay 63 autores diferentes; y de este total, dos autores participan con tres artículos, y cinco autores participan en dos artículos; los demás autores participan solo con un artículo.

La mayor parte del trabajo investigativo es realizado sobre información diaria (18 artículos), y hay un solo trabajo que usa información anual.

3 DISCUSIÓN

3.1 P1: ¿Cuáles son los principales sistemas de inferencia borrosa y neuro-difusos que se han utilizado?

Las metodologías aplicadas al pronóstico de índices accionarios son:

- Series de tiempo difusas (15 estudios) [17-31]. Es necesario enfatizar que esta no es una única metodología, sino que agrupa todos aquellos métodos que construyen un sistema de inferencia difusa a partir de los datos.
- Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) (9 estudios) [32-40]. Este es un tipo de red neuro-difusa adaptativa usada principalmente en aplicaciones de ingeniería de control.
- Lógica difusa [41].

3.2 P2: ¿Cuáles casos de aplicación (indicador y mercado) se han reportado sobre el pronóstico usando técnicas de inferencia borrosa y neuro-difusos?

- TAIEX (Taiwan) (13 estudios) [17, 20, 21, 24, 26-33]
- NYSE [26, 37, 38, 40].
- NASDAQ (New York) [24, 29, 34, 39].
- KOSPI (Corea del Sur) [22, 25].
- KLCI (Malaysia) [18, 38].
- S&P500 (New York) [38, 40].
- FTSE (Londres) [34, 38].
- ISE Nacional 100 Index (Estambul) [35].
- NIKKEI 225 (Japón) [34].
- IPSA (Chile) [41].
- SHI (Shangai): [19].
- TEPIX (Tehran Iran) [36]

3.3 P3: ¿Qué conclusiones se han reportado en los estudios?

Las principales conclusiones reportadas son las siguientes:

- Los modelos de pronóstico basados en sistemas de inferencia borrosa y neuro-difusos, superan los modelos econométricos [17, 18, 25, 34, 37, 39] y las redes neuronales [19, 30, 32, 36], ya que gracias a estos, se obtienen mejores resultados y mayor precisión en los modelos de pronóstico del mercado de valores.
- Los resultados obtenidos en los modelos de predicción mediante ANFIS (adaptive neural fuzzy inference system) demuestran que esta técnica es muy efectiva para la predicción de los precios de las acciones, gracias a su rapidez, bajo costo y precisión en los resultados [35].
- Una estrategia de inversión basada en lógica difusa permite a los inversionistas obtener rendimientos más altos, que con otros métodos como las redes neuronales o sistemas de negociación [30].
- La precisión de los resultados experimentales de los modelos pronóstico del precio de los índices bursátiles, utilizando datos históricos, debilita la hipótesis de mercado eficiente [36, 37].
- La capacidad predictiva de los modelos basados en sistemas de inferencia borrosa supera en rentabilidad la estrategia *buy-and-hold*, lo que los sitúa como una alternativa para el análisis técnico [37, 38, 40, 41].

4 CONCLUSIONES

En este artículo se indagó sobre el estado actual de la investigación relacionada con el pronóstico de los índices de mercados accionarios usando metodologías basadas en lógica difusa y sistemas neuro-difusos de inferencia; para ello, se empleó la metodología de revisión sistemática de literatura, la cual es uno de los métodos de investigación basados en evidencias.

Los hallazgos encontrados en esta investigación permiten concluir que: primero, hay un gran interés en el uso de las metodologías basadas en inferencia borrosa para el pronóstico de índices accionarios. Segundo, las evidencias reportadas demuestran que las técnicas de softcomputing consideradas pueden arrojar pronósticos de igual o mayor precisión que las técnicas tradicionales. Tercero, la mayor parte de la investigación está concentrada en las metodologías de series de tiempo borrosas, pero, existen otras metodologías competitivas que no han sido consideradas en las experiencias reportadas en la literatura más relevante. Cuarto, para el caso colombiano, priman los estudios relacionados con el pronóstico de su volatilidad, y son pocos los avances que se han dado en torno a la predicción de su evolución.

Como trabajo futuro, se evidencia la necesidad inmediata de realizar estudios sobre la aplicación de técnicas basadas en softcomputing para la predicción del IGBC, así como también, sobre la evaluación de otras metodologías alternativas que son propias de la inteligencia computacional.

REFERENCIAS

- [1] K. V. Sujatha y S. M. Sundaram, "Stock index prediction using regression and neural network models under non normal conditions", in International Conference on "Emerging Trends in Robotics and Communication Technologies", INTERACT-2010, pp. 59-63, 2010.
- [2] R. Vashisth y A. Chandra, "Predicting stock returns in Nifty index: An application of artificial neural network", *International Research Journal of Finance and Economics*, vol. 49, pp. 15-24, 2010.
- [3] Q. Wen, Z. Yang, Y. Song y P. Jia, "Automatic stock decision support system based on box theory and SVM algorithm", *Expert Systems with Applications*, vol. 37, n.º 2, pp. 1015-1022, 2010.
- [4] E. Hadavandi, H. Shavandi y A. Ghanbari, "Integration of genetic fuzzy systems and artificial neural networks for stock price forecasting", *Knowledge-Based Systems*, vol. 23, pp. 800-808, 2010.
- [5] L. Wang y Q. Wang, "Stock Market Prediction Using Artificial Neural Networks Based on HLP", International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), pp. 116-119, 2011.
- [6] I. Moosa y L. Li, "Technical and Fundamental Trading in the Chinese Stock Market: Evidence Based on Time-Series and Panel Data", *Emerging Markets Finance and Trade*, vol. 47, n.º 1, pp. 23-31, 2011.
- [7] Y. Kara, M. Acar Boyacioglu y O. K. Baykan, "Predicting direction of stock price index movement using artificial neural networks and support vector machines: The sample of the Istanbul Stock Exchange", *Expert Systems with Applications*, vol. 38, n.º 5, pp. 5311-5319, 2011.
- [8] J.-Z. Wang, J.-J. Wang, Z.-G. Zhang y S.-P. Guo. "Forecasting stock indices with back propagation neural network", *Expert Systems with Applications*, vol. 38, n.º 11, pp. 14346-4355, 2011.
- [9] E. Guresen, G. Kayakutlu y T. U. Daim, "Using artificial neural network models in stock market index prediction", *Expert Systems with Applications*, vol. 38, n.º 8, pp. 10389-10397, 2011.
- [10] G. S. Atsalakis y K. P. Valavanis, "Surveying Stock Market Forecasting Techniques - Part I: Conventional Methods", *Journal of Computational Optimization in Economics and Finance*, vol. 2, n.º 1, pp. 45-92, 2010.
- [11] G. S. Atsalakis y K. P. Valavanis, "Surveying stock market forecasting techniques - Part II: Soft computing methods", *Expert Systems with Applications*, vol. 36, n.º 3, pp. 5932-5941, 2009.
- [12] D.M. Rivera, "Modelación del efecto del día de la semana para los índices accionarios de Colombia mediante un modelo STAR GARCH", *Revista de Economía del Rosario*, vol. 12, n.º 1, pp. 1-24, 2009.
- [13] E.D. Cruz, J. H. Restrepo y P. Medina. "Pronóstico del Índice General de la Bolsa de Valores de Colombia usando redes neuronales", *Scientia et Technica*, vol. 15, n.º 41, pp. 129-134, 2009.
- [14] H. Fernández, "EGARCH: un modelo asimétrico para estimar la volatilidad de series financieras", *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 9, n.º 16, pp. 49-60, 2010.
- [15] J.C. Alonso y J.C. García, "¿Qué tan buenos son los patrones del IGBC para predecir su comportamiento?: una aplicación con datos de alta frecuencia", *Estudios Gerenciales*, vol. 25, n.º 112, pp.13-36, 2009.
- [16] B. Kitchenham, "Procedures for Performing Systematic Reviews", Joint Technical Report, Computer Science Department, Keele University (TR/SE-0401) and National ICT Australia Ltd. (0400011T.1), 2004.
- [17] T. Yu y K. Huarng, "A bivariate fuzzy time series model to forecast the TAIEX", *Expert Systems with Applications*, vol. 34, n.º 4, pp. 2945-2952, 2008.

- [18] L. Abdullah y C. Y. Ling, "A fuzzy time series model for Kuala Lumpur Composite Index forecasting", 4th International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO), pp. 1-5, 2011.
- [19] W. Qiu, X. Liu y H. Li. "A generalized method for forecasting based on fuzzy time series", *Expert Systems with Applications*, vol. 38, n.º 8, pp. 10446-10453, 2011.
- [20] E. Bai, W. K. Wong, W. C. Chu, M. Xia y F. Pan. "A heuristic time-invariant model for fuzzy time series forecasting", *Expert Systems with Applications*, vol. 38, n.º 3, pp. 2701-2707, 2011.
- [21] T. H.-K. Yu y K.-H. Huarng. "A neural network-based fuzzy time series model to improve forecasting", *Expert Systems with Applications*, vol. 37, n.º 4, pp. 3366-3372, 2010.
- [22] S.-H. Lee y J. S. Lim. "Forecasting KOSPI based on a neural network with weighted fuzzy membership functions", *Expert Systems with Applications*, vol. 38, n.º 4, pp. 4259-4263, 2011.
- [23] I.H. Kuo, S.-J. Horng, Y.-H. Chen, R.-S. Run, T.-W. Kao, R.-J. Chen, J.-L. Lai y T.-L. Lin, "Forecasting TAIEX based on fuzzy time series and particle swarm optimization", *Expert Systems with Applications*, vol. 37, n.º 2, pp. 1494-1502, 2010.
- [24] H.-H. Chu, T.-L. Chen, C.-H. Cheng y C.-C. Huang, "Fuzzy dual-factor time-series for stock index forecasting", *Expert Systems with Applications*, vol. 36, n.º 1, pp. 165-171, 2009.
- [25] H. Hwang y J. Oh, "Fuzzy models for predicting time series stock price index", *International Journal of Control, Automation and Systems*, vol. 8, n.º 3, pp. 702-706, 2010.
- [26] H. J. Teoh, C.-H. Cheng, H.-H. Chu y J.-S. Chen, "Fuzzy time series model based on probabilistic approach and rough set rule induction for empirical research in stock markets", *Data & Knowledge Engineering*, vol. 67, n.º 1, pp. 103-117, 2008.
- [27] C. Cheng, T. Chen, H. Teoh y C. Chiang, "Fuzzy time-series based on adaptive expectation model for TAIEX forecasting", *Expert Systems with Applications*, vol. 34, n.º 2, pp. 1126-1132, 2008.
- [28] S.-M. Chen y C.-D. Chen, "Handling forecasting problems based on high-order fuzzy logical relationships", *Expert Systems with Applications*, vol. 38, n.º 4, pp. 3857-3864, 2011.
- [29] C. H. Cheng, J. W. Liu y T. H. Lin, "Multi-Factor Fuzzy Time Series Model Based on Stock Volatility for Forecasting Taiwan Stock Index", *Advanced Materials Research*, vols. 211-212, pp. 1119-1123, 2011.
- [30] S.-M. Chen y K. Tanuwijaya, "Multivariate fuzzy forecasting based on fuzzy time series and automatic clustering techniques", *Expert Systems with Applications*, vol. 38, n.º 8, pp. 10594-10605, 2011.
- [31] S.-M. Chen y C.-D. Chen, "TAIEX Forecasting Based on Fuzzy Time Series and Fuzzy Variation Groups", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 19, n.º 1, pp. 1-12, 2011.
- [32] J.-R. Chang, L.-Y. Wei y C.-H. Cheng. "A hybrid ANFIS model based on AR and volatility for TAIEX forecasting", *Applied Soft Computing*, vol. 11, n.º 1, pp. 1388-1395, 2011.
- [33] L.-Y. Wei, T.-L. Chen y T.-H. Ho. "A hybrid model based on adaptive-network-based fuzzy inference system to forecast Taiwan stock market", *Expert Systems with Applications*, vol. 38, n.º 11, 2011.
- [34] B. B. Nair, N. M. Dharini y V. P. Mohandas. "A Stock Market Trend Prediction System Using a Hybrid Decision Tree-Neuro-Fuzzy System", *International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing (ARTCom)*, pp. 381-385, 2010.
- [35] M. A. Boyacioglu y D. Avci. "An Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS) for the prediction of stock market return: The case of the Istanbul Stock Exchange", *Expert Systems with Applications*, vol. 37, n.º 12, pp. 7908-7912, 2010.
- [36] A. Esfahanipour y P. Mardani. "An ANFIS model for stock price prediction: The case of Tehran stock exchange", *International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, pp. 44-49, 2011.
- [37] G. S. Atsalakis y K. P. Valavanis. "Forecasting stock market short-term trends using a neuro-fuzzy based methodology", *Expert Systems with Applications*, vol. 36, n.º 7, pp. 10696-10707, 2009.
- [38] S. D. Bekiros, "Fuzzy adaptive decision-making for boundedly rational traders in speculative stock markets", *European Journal of Operational Research*, vol. 202, n.º 1, pp. 285-293, 2010.
- [39] T. Ansari, M. Kumar, A. Shukla, J. Dhar y R. Tiwari, "Sequential combination of statistics, econometrics and Adaptive Neural-Fuzzy Interface for stock market prediction", *Expert Systems with Applications*, vol. 37, n.º 7, pp. 5116-5125, 2010.
- [40] S. D. Bekiros, "Sign Prediction and Volatility Dynamics With Hybrid Neurofuzzy Approaches", *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 22, n.º 12, pp. 2353-2362, 2011.
- [41] A. Parisi, J. Rebolledo y E. Cornejo, "Modelos de lógica y lógica borrosa en la predicción del IPSA", *Revista de Estudios de Administración*, vol. 13, n.º 1, pp. 37-66, 2006.

