

Simulación basada en agentes de software para la evaluación de indicadores técnicos

Software agents based simulation for the assessment of technical indicators

Alejandro Escobar, Julián Moreno, Sebastián Múnera*

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Carrera 80 N.º 65 - 223
Bloque M8A, Medellín, Colombia

(Recibido el 18 de febrero de 2010. Aceptado el 31 de agosto de 2010)

Resumen

Teniendo en cuenta los inconvenientes que puede acarrear la evaluación de indicadores técnicos en un mercado bursátil real, en este documento se presenta como alternativa un modelo de simulación basado en agentes de software en el que se consideran dos aspectos micro de este tipo de sistemas: los mecanismos de toma de decisión de los agentes y el protocolo de subasta de doble punta mediante el cual se realizan las transacciones. En particular, se analizan de manera empírica los indicadores de Promedios Móviles Ponderados Simples, Dobles y Triples, Momento, ROC, MACD y RSI a través de una serie de simulaciones para 280 agentes, incorporando también factores externos que pueden afectar los precios mediante un modelo de movimiento Browniano.

----- *Palabras clave:* Simulación, agentes de software, análisis técnico, subasta de doble punta continua

Abstract

Considering the inconvenients that the assessment of technical indicators may handle in a real stock market, an agent based simulation model is presented in this document as an alternative where two micro aspects are considered for this kind of systems: agents' decision making mechanisms and the continuous double auction protocol through which transactions are made. In particular, the following indicators are analyzed in an empirical way: Simple, Double and Triple Weighted Moving Averages; Momentum, ROC, MACD and RSI throughout a series of simulations for 280 agents adding also external factors that may affect prices by using a Brownian motion model.

----- *Keywords:* Simulation, software agents, technical analysis, continuous double auction

* Autor de correspondencia: telefono: + 57 + 4 + 425 52 21, fax: + 57 + 4 + 425 53 65, correo electrónico: jmoreno1@unal.edu.co. (J. Moreno).

Introducción

El principio elemental en el que se fundamenta un inversor en un mercado bursátil es el de comprar barato y vender caro para obtener una diferencia positiva, sin embargo, el truco en esta decisión se encuentra en determinar exactamente cuándo hacer una cosa o la otra y en qué cantidad. Este dilema no es fácil de solucionar y se requiere de un conocimiento profundo del mercado para reconocer comportamientos y tendencias de interés que permitan tomar la decisión apropiada.

Existen dos escuelas o enfoques clásicos de análisis bursátil que tienen como finalidad reconocer dichas tendencias, el primero se conoce como análisis fundamental y se basa en valorar los productos (generalmente acciones) a partir de una evaluación económica de las empresas que las emiten. De esta manera, la decisión de comprar o vender depende de si ese valor está por debajo o por encima de la cotización (precio) que tenga la acción en un determinado momento en el mercado. De manera más detallada puede decirse que si el precio de una acción está por debajo de su valor intrínseco significa que la acción está infravalorada por el mercado y se esperaría que su cotización suba, con lo que sería pertinente comprarla. Por otro lado, si el precio de la acción está por encima de su valor intrínseco, significa que la acción está sobrevalorada y se esperaría que su cotización baje, caso en el cual se debería vender.

El otro enfoque clásico es el análisis técnico el cual se fundamenta en que el comportamiento de los mercados sigue rumbos que no necesariamente dependen de las variables que se estudian en el análisis fundamental, y por tanto el valor supuesto de una acción puede diferir en gran medida del valor real. Considerando esto, este enfoque busca examinar el comportamiento analizando únicamente la evolución de los precios pasados para predecir su tendencia futura, considerando los siguientes principios [1]: a) El precio de una acción depende de la interacción de oferta y demanda y no de un valor intrínseco como el que le asigna el análisis fundamental; b) Los precios se comportan de acuerdo a tendencias marcadas

y tienen una duración relativamente larga hasta que ocurren cambios capaces de cambiarlas; c) El comportamiento de las cotizaciones depende de los comportamientos pasados pues los mercados tienen memoria generando que se repitan determinados patrones de manera cíclica; d) Los precios no dependen únicamente del mercado sino de los miedos, expectativas y esperanzas de los inversores, los cuales, aunque a veces están muy bien informados, están influenciados por factores psicológicos que insertan elementos irracionales y aleatorios.

Siendo el análisis técnico una de las herramientas más utilizadas en los mercados bursátiles y en particular por inversores no expertos que no tienen la posibilidad de llevar a cabo un análisis fundamental, el trabajo presentado en este artículo describe un modelo de simulación que permite la evaluación de estrategias de inversión a partir de análisis técnico. Si bien la mejor manera de determinar si una estrategia es buena o no en un mercado bursátil es aplicándola en la realidad, esto tiene como inconveniente el costo en el que se incurriría en términos de tiempo y dinero. Por esto, la simulación se presenta como una alternativa efectiva en el sentido que se pueden establecer condiciones semejantes a las de la realidad y conocer los resultados en muy poco tiempo, ahorrando así tiempo y dinero.

Como aproximación para el modelo de simulación se eligió la Simulación Basada en Sistemas Multi-Agente (MABS, por sus siglas en inglés) [2-3] que puede entenderse como la intersección entre la Simulación Basada en Agentes (ABS, por sus siglas en inglés) [4] proveniente del campo de la sociología y los Sistemas Multi-Agente (MAS, por sus siglas en inglés) [5], provenientes del campo de la inteligencia artificial distribuida. La fortaleza de esta aproximación radica en el estudio a nivel micro de sistemas complejos, vistos como el resultado emergente de las interacciones entre las partes (agentes) que lo constituyen. Dichas interacciones afectan el comportamiento global del sistema, y éste a su vez afecta el comportamiento individual de los agentes.

Este aspecto es especialmente cierto en los mercados bursátiles y es por esta razón que se eligió esta aproximación para desarrollar el trabajo aquí presentado, idea que es compartida por otros trabajos importantes encontrados en la literatura [6-9].

En la propuesta presentada en este documento, el modelo de simulación contempla los agentes que representan inversores reales del mercado y cuyas interacciones se llevan a cabo mediante un mecanismo estándar para este tipo de mercados como es la Subasta de Doble Punta Continua (CDA, por sus siglas en inglés). Para proveer al modelo de escenarios realistas, éste puede ser alimentado con el histórico de cotizaciones de diversas acciones, siendo el mercado Colombiano el caso de validación en este trabajo.

Formulación del modelo

El modelo de simulación consta de tres componentes principales. El primero como ya se mencionó son los agentes inversores cuyas decisiones son gobernadas por los indicadores descritos en la siguiente sección. El segundo es el mecanismo CDA [10-11], el cual es utilizado en muchas de las bolsas de valores alrededor del mundo para realizar las transacciones de acciones entre los que quieren comprar y los que quieren vender. A grandes rasgos, este mecanismo define un protocolo que funciona de la siguiente manera: Cuando en un determinado momento existen m ofertas de compra $b_1, b_2, \dots, b_m$ y n ofertas de venta $s_1, s_2, \dots, s_n$, éstas se ordenan de manera descendente en el primer caso y ascendente en el segundo. Se usa la notación i para el i -ésimo valor más alto de las ofertas de compra y el i -ésimo valor más bajo para las de venta. Una vez ordenadas de esta manera se determina un valor k en el cual se cumple la relación $b_k \geq s_k$ y $b_{k+1} < s_{k+1}$. Esta relación indica que desde 1 hasta k , el valor de las ofertas de compra es mayor que las de venta por lo cual, cuando mucho, k tratos son posibles. Una vez determinado k se define un candidato para el precio de la negociación según la ecuación (1):

$$p_0 = \frac{1}{2}(b_{k+1} + s_{k+1}) \quad (1)$$

Si se cumple la relación $s_k \leq p_0 \leq b_k$ entonces las ofertas desde 1 hasta k tranzan al precio p_0 , mientras que en caso contrario las ofertas desde 1 hasta $k-1$ tranzan al precio b_k para los compradores y s_k para los vendedores. En el segundo caso, como el precio para los compradores es diferente al de los vendedores, el subastador recibe el monto de la diferencia. Una vez se establece una transacción, las ofertas correspondientes son borradas mientras que las demás permanecen en cola. Este protocolo en su forma básica sólo considera que todas las ofertas se realizan por una sola unidad del bien que se desea transar, lo cual no es cierto en el tipo de mercado bursátil que se está simulando. Para considerar este aspecto, se mejora el protocolo CDA haciendo que una vez se establecen aquellas ofertas que pueden transar, se examina la cantidad de cada una y, si esta es la misma para ambas, las dos son borradas, en caso contrario la oferta con mayor cantidad se actualiza restándole la cantidad de la menor y se deja en la cola, mientras que la otra se borra.

El último componente del modelo consiste en la simulación de los factores externos que afectan al mercado y que influyen directamente los precios de las acciones. El método elegido para llevar a cabo esta tarea fue mediante un movimiento Browniano geométrico [12] el cual es ampliamente utilizado para la generación de series sintéticas de precios de acciones. La ecuación (2), muestra cómo se estima el precio promedio de cada acción en cada periodo.

$$P_t = P_{t-1} + P_{t-1} * R' + P_{t-1} * \sigma_R * N(0,1) \quad (2)$$

En donde P_{t-1} corresponde al precio de la acción en el periodo anterior, R' a la rentabilidad promedio obtenida en los periodos anteriores y σ_R a su desviación estándar. Para incorporar este aspecto dentro del modelo, se adicionan en cada periodo una serie de ofertas “sintéticas” tanto de compra como de venta con un precio aleatorio alrededor del $\pm 5\%$ de P_t . La cantidad de ofertas generadas

se define considerando una distribución normal para el volumen de transacciones, así como una estimación del volumen generado por los agentes inversores. Otro aspecto fundamental de este componente es que al generar constantemente ofertas tanto de compra como de venta le provee liquidez al mercado simulado, lo cual es sumamente importante si se tiene en cuenta que el número de agentes inversores en una simulación es uno de los parámetros de entrada y, si éste es bajo, no habría una suficiente fuerza de oferta y demanda comparado con la contraparte real del mercado. Visto de otra manera, este componente representa un conglomerado del resto de agentes que participan en el mercado, cuyas decisiones están basadas precisamente en esos factores externos que se busca simular.

Un esquema general del modelo global considerando los tres componentes descritos puede observarse en la figura 1. Dentro de la definición de parámetros, como ya se mencionó, se encuentra el número de los agentes inversores así como la definición del indicador técnico que usaría cada uno.

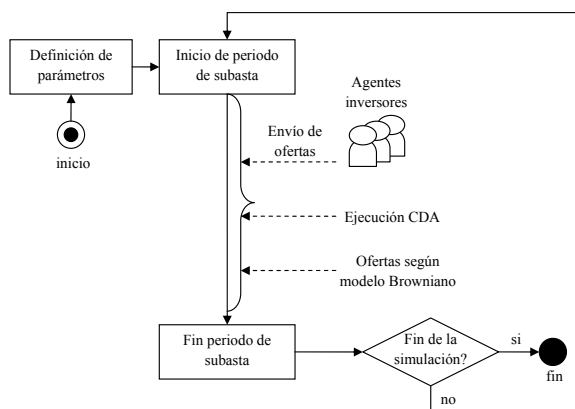


Figura 1 Esquema general del modelo de simulación

Entre estos parámetros también se encuentra el número de periodos (días) que se desea simular, las acciones que se van a considerar y los históricos de sus cotizaciones.

Indicadores técnicos implementados

Dentro del análisis técnico hay una gran variedad de indicadores, los cuales son modelos

matemáticos y estadísticos calculados a partir de los valores históricos de precios y/o volúmenes transados de acciones, y se utilizan como herramienta para determinar momentos potencialmente apropiados de compra o venta. Existen básicamente tres tipos de indicadores [1]: Los seguidores de tendencias, los osciladores y los que identifican si se está en periodos de tendencia o de trading.

Los seguidores de tendencia no buscan predecir el comportamiento futuro de los precios, sino identificar el comienzo de una tendencia sea al alza o a la baja. El seguidor de tendencia más común es el promedio móvil, el cual es un promedio aritmético que suaviza la curva de precios y se convierte en una representación sencilla de la tendencia, permitiendo identificar su inicio y evolución. Hay tres tipos de promedios móviles, el aritmético, el ponderado y el exponencial, siendo el segundo el utilizado en este trabajo.

Promedio móvil ponderado Como su nombre lo indica, consiste en el cálculo del promedio de los últimos n días de las cotizaciones dándole más peso a los datos más nuevos. En otras palabras, es la media aritmética pero a cada precio se lo multiplica por un peso que es una función lineal. Su representación se muestra en la ecuación (3).

$$PMP = \frac{\sum_{t=1}^N P_t * t}{\sum_{t=1}^N t} \quad (3)$$

Donde P_t es el precio promedio del día t -ésimo y N es el número de periodos que considera la media.

La manera de interpretar este promedio es mediante las señales que se producen cuando hay cortes entre las curvas de precios y la curva del promedio. Se dice que hay señal de compra cuando la curva del promedio es cortada ascendentemente por la de precios. De forma similar, hay señal de venta cuando la curva de precios cruza en forma descendente la del promedio.

También es posible utilizar dos y hasta tres promedios móviles que combinados producen señales más suavizadas. Con dos promedios móviles, se utiliza uno que representa al corto plazo y otro que representa al mediano plazo, la diferencia es que el de corto plazo utiliza obviamente un período de días menor que el de mediano plazo. La curva de corto plazo se ajusta más al precio y elimina las fluctuaciones que pueda tener, mientras que la curva de mediano plazo captura mejor la tendencia. Las señales de compra y venta dependen de los cruces entre las curvas de corto y mediano plazo, si la curva de mediano plazo es cruzada de forma ascendente por la de corto plazo, hay señal de compra, mientras que si es cruzada de forma descendente hay señal de venta.

En el caso de tres promedios móviles, se utilizan una curva de corto plazo, una de mediano plazo y otra de largo plazo. Cuando la curva de promedio móvil de corto plazo cruza a la curva de mediano plazo de abajo hacia arriba, es alerta de posible señal de compra que se ratifica si inmediatamente después la curva de mediano plazo corta a la de largo plazo de abajo hacia arriba. Asimismo, cuando la curva de corto plazo cruza a la curva de mediano plazo de arriba hacia abajo, es alerta de que posiblemente sea conveniente comprar y se ratifica la señal cuando la curva de mediano plazo corta a la de largo plazo de arriba hacia abajo.

Los osciladores por su parte, funcionan en períodos en los que los precios están fluctuando en bandas horizontales, es decir, en períodos de trading. Los osciladores utilizados en este trabajo son Momento, Rate Of Change (ROC), Moving Average Convergence / Divergence (MACD) y Relative Strength Index (RSI, por sus siglas en inglés), los cuales se describen a continuación.

Momento Este oscilador es uno de los más sencillos pues calcula la diferencia entre el precio actual y el precio N días atrás tratando de medir la velocidad a la que cambia la cotización y la dirección en la que está sucediendo dicha variación. La señal de compra se da cuando la curva de momento cruza la línea cero hacia arriba, y hay señal de venta si la cruza hacia abajo.

ROC Es muy similar al Momento pero no calcula la diferencia entre el precio actual con el precio N días atrás, sino su cambio porcentual. En este caso la línea guía no es el cero sino el 100 y la señal de compra se da cuando la curva cruza hacia arriba dicha línea, mientras que la de venta cuando lo hace hacia abajo.

MACD Es un oscilador que se basa en dos promedios móviles exponenciales, uno de corto plazo (12 días) y uno de largo plazo (26 días) para generar las señales de compra y venta, midiendo las diferencias existentes entre ellos. Se utiliza una línea disparadora que no es más que un promedio móvil aritmético de la curva de MACD de 9 días. La señal de compra se da cuando la curva de MACD cruza hacia arriba al disparador y, de manera análoga, la señal de venta se da cuando lo hace de arriba hacia abajo. En la ecuación (4) se muestra su representación matemática.

$$MACD = 100 * \frac{PME_{12} - PME_{26}}{PME_{26}} \quad (4)$$

RSI Este oscilador surgió a partir del de Momento con el fin de superar las limitaciones que éste tiene: los movimientos erráticos y la susceptibilidad a los cambios bruscos. El RSI suaviza la línea de Momento y está acotada por una franja con el fin de saber exactamente los momentos de sobrecompra y sobreventa. El RSI siempre tendrá un valor entre 0 y 100, y toma en cuenta los promedios móviles de los períodos en que hubo alzas y los períodos en los que hubo bajas. Se considera que hay señal de venta cuando la curva de RSI cruza hacia abajo hacia un límite superior que por lo general es 70, y hay señal de compra cuando cruza hacia arriba un límite inferior que por lo general es 30. Su representación matemática se muestra en la ecuación (5).

$$RSI = 100 - \frac{100}{1 + \frac{PMEa}{PMEb}} \quad (5)$$

Donde $PMEa$ es el promedio móvil exponencial de las alzas, y $PMEb$ es el promedio móvil exponencial de las bajas.

Resultados experimentales

Con el fin de validar el modelo de simulación presentado en este artículo se usó una plataforma computacional, diseñada usando una metodología denominada Sigma [13] propia de MABS, e implementada a partir del lenguaje Java y de la plataforma de administración de agentes de software JADE [14]. Con dicha plataforma se llevaron a cabo una serie de corridas, de las cuales 5 se resumen en la tabla 1. Para dichas corridas se consideraron 3 acciones significativas del mercado colombiano: Nacional de Chocolates (CHOCOL), Banco de Bogotá (Bogota) y

Preferencial de Bancolombia (BANCOLOM) de las cuales se cargó un histórico real de cotizaciones de 60 días extraído de la página de la Bolsa de Valores de Colombia. En cada corrida se incluyeron 280 agentes, 40 por cada uno de los indicadores técnicos considerados: Promedio Móvil Ponderado Simple (PMPS), Doble (PMPD), Triple (PMPT), MACD, Momento, ROC y RSI donde sus parámetros internos, que básicamente se refieren al número de períodos que consideran para sus cálculos, se definen de manera aleatoria dentro de determinados rangos. Para efectos comparativos, de manera que los resultados obtenidos se deban principalmente a la eficiencia del indicador y no a otras variables, tanto el saldo inicial de dichos agentes así como la cantidad inicial de acciones se define igual para todos en cada simulación.

Tabla 1 Resumen de resultados para 5 corridas

Corrida	Indicador técnico	Rentabilidad		Cantidad de transacciones		CHocol		Bogotá		PFBCOLOM	
		Avg	Std	Avg	Std	Rnt	Vlt	Rnt	Vlt	Rnt	Vlt
1	PMPS	1,34	1,30	25,70	4,48						
	PMPD	1,98	1,09	13,37	2,65						
	PMPT	2,93	1,09	19,71	2,95						
	MACD	3,54	1,07	12,43	2,75	5,82	7,85	2,04	3,24	7,61	8,96
	Momento	2,92	1,44	21,00	3,42						
	ROC	1,92	1,06	21,43	3,44						
	RSI	3,77	1,63	15,07	3,83						
	PMPS	-6,33	1,49	27,83	5,36						
2	PMPD	-2,72	1,16	9,63	2,80						
	PMPT	-2,70	1,09	17,91	2,28						
	MACD	-3,04	1,49	14,60	2,53	-7,4	3,53	1,84	2,95	1,11	7,32
	Momento	-2,44	1,20	13,20	3,35						
	ROC	-4,21	1,21	20,33	4,01						
	RSI	-0,56	0,62	6,87	2,43						
	PMPS										
	PMPD										

<i>Corrida</i>	<i>Indicador técnico</i>	<i>Rentabilidad</i>		<i>Cantidad de transacciones</i>		<i>CHocol</i>		<i>Bogotá</i>		<i>PFBCOLOM</i>	
		<i>Avg</i>	<i>Std</i>	<i>Avg</i>	<i>Std</i>	<i>Rnt</i>	<i>Vlt</i>	<i>Rnt</i>	<i>Vlt</i>	<i>Rnt</i>	<i>Vlt</i>
3	PMPS	2,56	1,56	41,27	6,22						
	PMPD	4,20	1,05	15,73	2,88						
	PMPT	4,95	1,53	28,90	3,27						
	MACD	3,93	1,40	20,33	2,59	12,92	8,03	1,41	2,34	9,53	5,84
	Momento	4,30	2,39	29,37	4,87						
	ROC	3,53	2,42	34,13	4,04						
	RSI	6,84	1,54	9,30	2,94						
	PMPS	-2,53	1,68	31,20	5,45						
4	PMPD	0,77	1,02	14,83	2,69						
	PMPT	0,98	1,28	22,70	2,11						
	MACD	1,08	0,94	13,07	3,13	0,05	3,31	3,46	4,05	5,09	5,97
	Momento	0,17	1,07	21,90	4,36						
	ROC	0,56	1,44	25,60	6,67						
	RSI	3,23	0,99	13,50	3,40						
	PMPS	-0,88	1,64	41,03	4,80						
	PMPD	-0,16	19,02	16,83	5,09						
5	PMPT	2,86	1,32	28,54	2,70						
	MACD	2,82	1,06	17,67	2,77	7,53	5,77	5,2	3,88	4,92	5,97
	Momento	1,33	1,98	26,67	7,86						
	ROC	1,47	1,58	33,83	6,71						
	RSI	4,91	0,92	12,50	4,63						

También para efectos de comparación y dado que los indicadores técnicos como tal sólo brindan información sobre cuándo comprar o vender una determinada acción, pero no sobre qué cantidad o qué precio ofertar, se definió que la cantidad de cada oferta para todos los agentes corresponda a una proporción de su saldo inicial, mientras que el precio se defina de manera aleatoria alrededor del $\pm 5\%$ del último valor conocido de la acción correspondiente.

Como puede observarse en la tabla 1, la rentabilidad de los seguidores de tendencia implementados, los promedios móviles ponderados, fue en promedio mejor al usar los triples, ubicándose en segundo lugar los dobles y por último el simple. Adicional a esto, se evidencian dos diferencias significativas: la primera es que en promedio la desviación estándar disminuye al usar más promedios significando esto una mayor estabilidad del

indicador ante diferentes escenarios; la segunda es que la cantidad de transacciones promedio realizadas también disminuye en el mismo sentido, lo cual es muy deseable si se tiene en cuenta que en los mercados reales dichas transacciones tienen asociados unos costos que por simplicidad no fueron considerados en este modelo de simulación.

Respecto a los osciladores, como era de esperarse el Momento y el ROC al ser tan simples presentaron en promedio menor rentabilidad y mayor desviación estándar que el RSI y el MACD. Igualmente exhiben en promedio una cantidad considerablemente mayor de transacciones que el RSI y el MACD siendo este último el que en promedio presenta un menor valor.

Como resultado general puede observarse que, al menos en las corridas realizadas, el indicador que en promedio presentó mejores resultados considerando no sólo rentabilidad si no también su desviación estándar y cantidad de señales (transacciones) fue el RSI, mientras que el peor fue PMPS.

Con el fin de visualizar con más detalle los resultados de estos experimentos se hace uso de la interfaz grafica de la plataforma que permite ver, entre muchas otras cosas, los gráficos de cotizaciones resultantes durante la simulación. La figura 2 muestra, por ejemplo, las cotizaciones de las tres acciones durante la corrida 5. Aquí se puede observar cómo el modelo conserva algunos estadísticos simples como la media y la varianza de los precios y volúmenes, reproduciendo de cierta manera las condiciones presentes en la contraparte real.

Para revisar con más detalle el comportamiento de los agentes inversores, la plataforma también permite visualizar la representación de los indicadores empleados, así como la variación correspondiente en la cantidad de acciones. A manera de ejemplo, la figura 3 muestra los indicadores para tres agentes cuya rentabilidad fue más similar al promedio de aquellos que usaron ese indicador durante la corrida 5. Se muestran en este caso tres agentes que usaron

PMS, ROC y RSI considerando que fueron los que para esa corrida exhibieron el peor, medio y mejor comportamiento respectivamente.

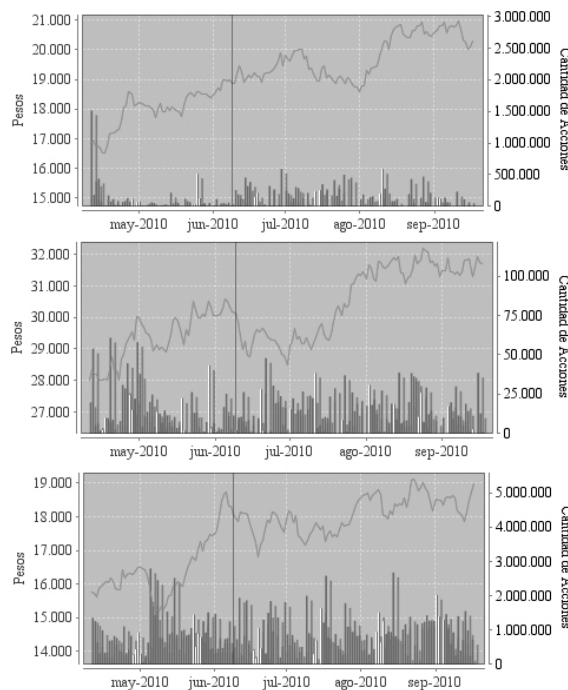


Figura 2 Cotizaciones para las tres acciones consideradas en la corrida 5, chocolates (superior), Bogotá (medio), Pfclob (inferior)

Por su parte, la figura 4 muestra la cantidad de acciones de esos mismos tres agentes durante toda esa simulación. Si bien a partir de la tabla 1 ya se había realizado un breve análisis sobre la efectividad de los indicadores considerados, las últimas dos figuras lo reafirman en el sentido que permiten observar con claridad la conveniencia de las señales de compra y venta producidas, así como su sensibilidad. En particular puede observarse cómo en esta comparación, el PMS es el que presenta una mayor cantidad de señales generando la mayor cantidad de transacciones con el agravante que no todas ellas fueron acertadas. En el medio respecto a este aspecto se encuentra el ROC, mientras que claramente el RSI es el que exhibe una menor cantidad de señales las cuales, si bien no son completamente acertadas u oportunas, sí permitieron en este caso aprovechar las tendencias presentes en los precios.

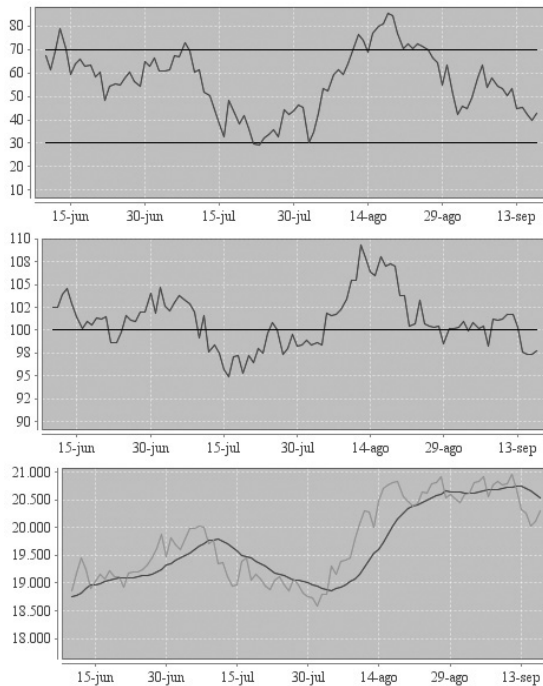


Figura 3 Señales de los indicadores para la acción Chocolates de tres agentes inversores durante la corrida 5, RSI (superior), ROC (medio), PMPS(inferior)

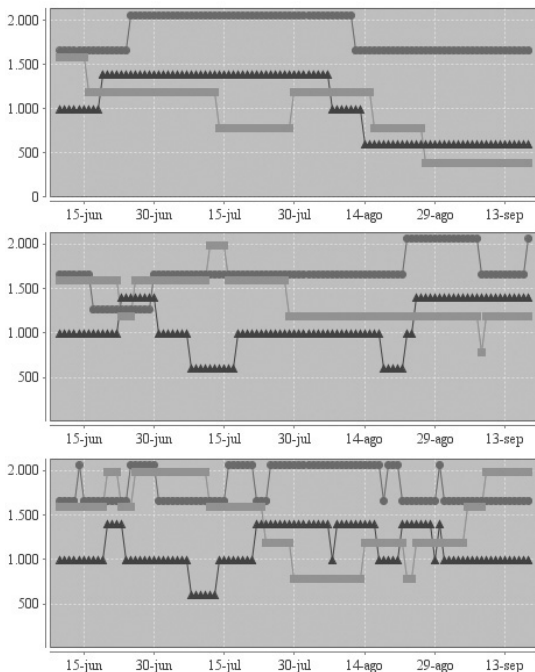


Figura 4 Cantidad de acciones de tres agentes inversores durante la corrida 1, RSI (superior), ROC (medio), PMPS (inferior)

Conclusiones

Teniendo en cuenta que los mercados bursátiles son sistemas complejos en los que la validación de estrategias de inversión de manera directa puede resultar inconveniente y hasta peligroso en términos de tiempo y dinero, este artículo describe una alternativa interesante como es un modelo de simulación basado en agentes de software (MABS) que permite superar estas limitaciones. Tal modelo contempla no sólo aspectos micro como son los agentes inversores (junto con sus mecanismos de razonamiento modelados, en este caso mediante indicadores técnicos) y el protocolo de subasta de doble punta (CDA) utilizado en la mayoría de bolsas de valores; sino también aspectos macro como los factores externos que pueden afectar el mercado (modelados en este caso mediante un movimiento Browniano geométrico).

Puede decirse entonces que el objetivo principal del modelo desarrollado es permitir la validación de forma empírica de indicadores técnicos, mediante simulaciones de mercados en las que se pueden definir múltiples escenarios que sean consistentes con la naturaleza de su contraparte real. Tal modelo fue validado mediante la implementación de una plataforma computacional completamente funcional la cual fue probada mediante múltiples corridas, algunas de las cuales fueron presentadas de manera resumida en este artículo.

Es importante aclarar, sin embargo, que con el análisis de los resultados en dichos experimentos no se busca llegar a decir de manera contundente que sea mejor un indicador sobre otro y que éste tampoco es el objetivo del modelo como tal, pues eso claramente depende de las circunstancias en las que se apliquen. Lo que sí se puede decir es que por medio del modelo y plataforma presentados en este artículo, se puede hacer una valoración experimental de su rendimiento general al menos respecto a la rentabilidad obtenida, a su desviación estándar y a la cantidad de señales de compra y venta que producen.

Precisamente la conclusión más importante que puede sacarse, es que lo presentado aquí puede considerarse como un esqueleto que, dado su enfoque MABS, permite la incorporación de manera sencilla de diferentes estrategias de inversión en un mercado bursátil bien sea a partir de otros indicadores técnicos conocidos o cualquier otra aproximación que desee validarse. En este momento, de hecho el grupo de investigación trabaja en la incorporación de nuevos indicadores basados en otras corrientes no sólo matemáticas y estadísticas sino también provenientes de la inteligencia artificial explorando alternativas, basadas también en el estudio de los precios históricos, pero usando herramientas como la lógica difusa y el aprendizaje de máquina.

Referencias

1. A. Álvarez. *Análisis bursátil con fines especulativos: un enfoque técnico moderno*. Ed. Limusa. Madrid. 2007. pp. 20-49.
2. S. Van der Hoog. *On multi-agent based simulation*. Working Paper, Center for Non-Linear Dynamics in Economics and Finance, Department of Quantitative Economics, University of Amsterdam, The Netherlands. 2004. <http://departments.oxy.edu/cogsci/courses/2008/295/readings/mabs.pdf>. Consultada el 24 de mayo de 2010.
3. L. Tesfatsion. "Agent-Based Computational Economics: Growing Economies from the Bottom Up". *Artificial Life*. Vol. 8. 2002. pp. 55-82.
4. P. Davidsson. "Agent Based Social Simulation: A Computer Science View". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. Vol. 5. 2002. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/1/7.html>. Consultada el 22 de junio de 2010.
5. M. Wooldridge. *An Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley & Sons. Chichester (England). 2002. pp. 15-42.
6. M. Raberto, S. Cincotti. "Modeling and simulation of a double auction artificial financial market". *Physica A*. Vol. 355. 2005. pp. 34-45.
7. T. Xiao Guo. *An agent-based simulation of double-auction markets*. Master thesis. University of Toronto. 2005. pp. 17-30.
8. B. LeBaron. "Agent-based Financial Markets: Matching Stylized Facts with Style". *Post Walrasian Macroeconomics: Beyond the DSGE Model*. Ed. Cambridge University Press. Cambridge 2006. pp. 221-235.
9. B. Llacay, G. Peffer. "Simulación realista de los mercados financieros con sistemas multi-agentes". *Working Paper*. Universitat de Barcelona. 2008. <http://hdl.handle.net/2445/4821>. Consultada el 29 de mayo de 2010.
10. M. Yokoo, Y. Sakurai, S. Matsubara. "Robust Double Auction Protocol against False-name bids". *Proceedings of the 21st IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS-2001)*. Phoenix (AZ) 2001. pp. 137-145.
11. P. Wurman, W. Walsh, M. Wellman. "Flexible double auctions for electronic commerce: Theory and implementation". *Decision Support Systems*. Vol. 24. 1998. pp. 17-27.
12. M. F. M. Osborne. "Brownian Motion in the Stock Market". *Operations Research*. Vol. 7. 1959. pp. 145-173.
13. J. Moreno, J. Velásquez, D. Ovalle. "Una Aproximación Metodológica para la Construcción de Modelos de Simulación Basados en el Paradigma Multi-Agente". *Revista Avances en Sistemas e Informática*. Vol. 4. 2007. pp. 145-154.
14. F. Bellifemine, A. Poggi, G. Rimassa. "JADE: A FIPA-compliant agent framework". *Proceedings of the 4th International Conference on Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology (PAAM)*. London (UK). 1999. pp. 97-108.