

# Modelo de simulación de una subasta de doble punta mediante el paradigma multi-agente

## Double auction simulation model using a multi-agent approach

Alejandro E. Garcés, Julian Moreno MSc y Sebastián F. Múnera  
Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín  
{aescobag, jmoreno1, sfmunera} @unalmed.edu.co

Recibido para revisión 10 de enero de 2009, aceptado 20 de mayo de 2009, versión final 15 de junio de 2009

**Resumen-** El propósito de este artículo es presentar las fases de conceptualización, análisis y diseño de un modelo de simulación basado en el paradigma multiagente (MABS) para el proceso de transacción de acciones en la bolsa de valores de Colombia. Para hacer esto se consideró el mecanismo de subasta de doble punta (Double Auction) que es el que actualmente se utiliza, no solo en el caso Colombiano, si no también en muchas de las principales bolsas del mundo y se empleó como metodología de modelamiento Sigma, la cual fue propuesta por el grupo GIDIA (Grupo de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Si bien el alcance del trabajo presentado en este artículo no contempla la implementación del modelo ni la incorporación de los mecanismos de razonamiento complejos que pueden exhibir los agentes involucrados, sí se presentan los resultados preliminares de un primer prototipo por una parte, y los lineamientos para la modelación de tales comportamientos por otra parte.

**Palabras Clave-** Simulación Basada en Sistemas Multi-Agente, Subasta de Doble Punta, Metodología de Modelación.

**Abstract-** This paper aims to present the phases of conceptualization, analysis and design of a simulation model based on multi-agent paradigm (MABS) which represents the stock transaction process within the Colombian stock exchange. For this, the Double Auction mechanism was considered which is currently used not only in the Colombian case, but also in many of the main stock markets all over the world; the Sigma modeling methodology was employed, which was proposed by the GIDIA group (Research and Development Group on Artificial Intelligence, by its acronym in spanish) of the National University of Colombia, Medellín Campus. Although the scope of the work presented in this paper does not consider either the model implementation or the incorporation of complex reasoning mechanisms that the involved agents might exhibit, the preliminary results of a first prototype are indeed presented on the one hand, and also the guidelines for modeling such behaviors, on the other hand.

**Keywords-** Multi-Agent Based Simulation, Double Auction, Modeling Methodology.

### I. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas se ha visto la necesidad cada vez más creciente de representar comportamientos sociales complejos mediante simulaciones computacionales en todo tipo de ámbitos como son los mercados financieros, ecosistemas, sistemas de transporte, comercio electrónico, etc. Esto ha llevado al desarrollo de diversos campos de investigación que estudian este tipo de comportamientos teniendo en cuenta las interacciones entre los integrantes que componen dichos sistemas, así como los comportamientos no solo individuales si no emergentes que pueden presentarse. Para este propósito existen actualmente varios enfoques que van desde la Simulación y Dinámica de Sistemas, la Ingeniería de Software, pasando por la Simulación Basada en Agentes (ABS), la Simulación Social Basada en Agentes (ABSS), hasta Simulación Basada en Sistemas Multi-agentes (MABS) [1].

Dentro de este contexto el trabajo al que hace referencia este artículo se focaliza en los mercados accionarios, específicamente, en los mecanismos para realizar transacciones y en las interacciones que para ello deben llevarse a cabo. Actualmente, en la mayoría de las grandes bolsas de valores del mundo tales como NYSE (New York Stock Exchange), CME (Chicago Mercantile Exchange), NASDAQ (National Association of Securities Dealer Automatic Quotation) [2], y en el ámbito nacional, la BVC (Bolsa de Valores de Colombia) se emplea la subasta de doble punta como método de negociación de valores (acciones, productos básicos y derivados). Por esta razón, se presenta en este artículo un modelo de simulación basada en

sistemas multi-agente utilizando este tipo de subasta debido a su importancia en el medio, el alto grado de interacción entre los diferentes participantes involucrados, y el impacto que tienen diferentes aspectos exógenos en el sistema.

Para alcanzar esta meta se presenta en este artículo las etapas de conceptualización, análisis y diseño que hacen parte de la metodología Sigma para la creación de modelos MABS [3]. Adicionalmente se presentan los resultados de la implementación de un prototipo utilizando la plataforma para el desarrollo de agentes de software JADE [4] la cual permite administrar agentes manejando la comunicación y coordinación entre ellos.

La estructura del artículo está organizado de la siguiente manera: En la Sección 2 se presenta un breve marco teórico donde se explican los temas relacionados con el presente trabajo como son los mercados bursátiles, la subasta de doble punta, y MABS, así como un breve estado del arte en relación a trabajos que involucran estos tres temas. En la Sección 3 se presenta todo el desarrollo del modelo empleando la metodología elegida. En la Sección 4 se presentan algunos resultados preliminares del prototipo implementado para este fin. Finalmente, en la Sección 5 se exponen algunas conclusiones así como el trabajo futuro.

## II. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Para poner en contexto al lector en relación a los aspectos que se desarrollan en el artículo, se presenta a continuación una breve explicación de los conceptos relacionados con este trabajo. Se explica lo que son los mercados bursátiles, luego el protocolo modelado que es la subasta de doble punta, se hace una breve introducción a la simulación basada en sistemas multi-agente y por último se revisan algunos trabajos relacionados con estos temas.

### A. Mercados bursátiles

Los mercados bursátiles se definen como aquellos mercados públicos o privados para la comercialización de valores tales como acciones, bonos públicos o privados, títulos o derivados. Los valores son negociados en un lugar especializado para este fin como lo son las bolsas que reúnen a vendedores y compradores para realizar las ofertas y demandas.

La primera bolsa del mundo se remonta aproximadamente al año 1460 en Amberes, Bélgica, pero la primera bolsa importante se fundó a principios del siglo XVII en Amsterdam, donde se transaban ya activos financieros, ésta fue creada por la Compañía Holandesa de las Indias Orientales con el fin de hacer tratos con acciones y bonos.

Entre las bolsas más importantes del mundo en la actualidad se encuentran, NYSE (New York Stock Exchange), NASDAQ (National Association of Securities Dealers Automated Quotations), Bolsa de valores de Toronto (Toronto Stock

Exchange), NYSE - Euronext, y las bolsas de París, Amsterdam, Londres, Madrid, Milán y Frankfurt (Deutsche Börse).

Los participantes en una bolsa pueden variar desde individuos con intereses propios hasta grupos como empresas y corporaciones que contratan profesionales que los representan. Usualmente, las negociaciones se realizan en lugares físicos donde las ofertas se realizan en voz alta, o electrónicamente donde los participantes se encuentran ubicados en terminales conectados a Internet. El principio básico que soporta el beneficio de invertir en la bolsa es comprar barato y vender caro, sin embargo, para saber cuándo comprar y cuándo vender se requiere de conocimientos de economía y tendencias en la bolsa de valores.

La especulación es la acción de comprar acciones de una o varias empresas en un momento determinado para luego venderlas en otro momento, aplicando alguna técnica de análisis bursátil [5]. Las principales técnicas de análisis bursátil son: análisis fundamental y análisis técnico. La primera se refiere a la especulación a partir de la valoración que tiene la empresa que vende la acción, cada acción tiene un valor intrínseco que depende de la actividad y evolución de la empresa, cuando el valor de una acción es inferior al valor intrínseco es conveniente comprar, y si es superior es adecuado vender. Por otro lado, el análisis técnico toma en cuenta el seguimiento del comportamiento del mercado y trata de predecir un comportamiento futuro. Cuando el mercado muestra comportamientos aleatorios conviene utilizar el análisis técnico para capturar tendencias alcistas o bajistas.

### B. Subasta de doble punta

Este tipo de subasta consiste en que existen  $n$  cantidad de vendedores y  $m$  cantidad de compradores. Cualquier vendedor puede en cualquier momento, durante un período específico, registrar una oferta de venta de algún bien que éste posea y podrá ser observada simultáneamente por todos los compradores y vendedores. Similarmente, cada comprador puede registrar una oferta de compra en cualquier momento para adquirir algún bien, ésta será observada por los otros compradores y vendedores [6].

El enfoque básico de la DA consiste en que se espera un tiempo establecido a que todos los vendedores y compradores registren sus ofertas y luego se realiza la subasta encontrando aquellas que coincidan en precio y procediendo a realizar el trato entre ambas partes. Sin embargo, ésta no es la única alternativa, también está la subasta de doble punta continua (Continuous Double Auction) que es la más usada en las bolsas de valores actualmente y la diferencia radica en que no se espera un tiempo determinado a que todos los vendedores y compradores registren sus ofertas para poder comenzar la subasta, sino que a medida que se realiza cualquier tipo de oferta se compara con las ya existentes para determinar si es posible realizar el trato.

Un protocolo realizado por R. Preston McAfee y explicado en [7] para las DA consiste en lo siguiente:

Se declaran  $m$  valores de oferta de compra,  $y$   $n$  valores de oferta de venta,  $\dots$ . Una vez obtenidos estos valores se procede a realizar un procesamiento sobre éstos de modo tal que se obtienen las siguientes relaciones:

$$S_1 > S_2 > S_3 > S_4 > \dots > S_m \quad (1)$$

Se puede notar el orden inverso para los compradores y vendedores. Se usa la notación  $i$  para el  $i$ -ésimo valor más alto para las ofertas de los compradores y el  $i$ -ésimo valor más bajo para las de los vendedores.

Si elegimos un valor arbitrario  $k$  entonces podemos concluir que cuando se cumple la relación:

$$S_k > B_k \quad (2)$$

Desde 1 hasta  $k$ , el valor de las ofertas de los compradores es mayor que la de los vendedores, entonces, cuando mucho,  $k$  tratos son posibles. También es posible definir un candidato para el precio de la negociación así:

$$(3)$$

Una vez obtenida toda esta información, entonces ya es posible indicar qué cantidad de compradores y vendedores pueden negociar y a qué precio:

1. Si se cumple la relación  $S_k > B_k$ , entonces los compradores y vendedores desde 1 hasta  $k$  van a negociar al precio calculado  $P_k$  y no al precio que establecieron en sus respectivas ofertas.
2. Si se cumple la relación  $S_k < B_k$  ó  $S_k = B_k$ , entonces se determina que los compradores y vendedores desde 1 hasta  $k-1$  negocian. El precio de estas transacciones se realiza a un precio  $P_{k-1}$  para los compradores y  $P_{k-1}$  para los vendedores.

Si la que se cumple es la segunda opción, entonces como el precio para los compradores es mayor que el de los vendedores,  $P_{k-1} > P_{k-1}$ , el subastador recibe el monto de la diferencia, es decir  $P_{k-1} - P_{k-1}$ .

A continuación describiremos un ejemplo del proceso de una subasta de doble punta:

Supongamos el siguiente conjunto de vendedores y compradores que realizan una serie de ofertas de venta y compra respectivamente sobre el mismo producto, estas ofertas ya fueron ordenadas según (1), ver tabla 1.

**TABLA 1.** OFERTAS DE COMPRA Y VENTA

Vendedores ( $S_k$ )		Compradores ( $B_k$ )	
$S_1$	1000	$B_1$	1800
$S_2$	1500	$B_2$	1600
$S_3$	2000	$B_3$	1400
$S_4$	2500	$B_4$	1000
		$B_5$	800

Si procedemos a encontrar el valor de  $k$ , podemos observar que  $B_2 > S_2$  y  $S_3 > B_3$ , luego el  $k$  para el cual se cumple la relación (2) es  $k=2$ . Esto quiere decir que para realizar el cálculo de  $P_2$  se usan los valores de  $S_3$  y  $B_3$  lo que nos da un valor de 1700.

Según el protocolo, no se cumple la relación para  $k=2$ , por lo tanto, se realiza la transacción hasta  $k-1$ , es decir, en este caso sólo el vendedor  $S_1$  y el comprador  $B_1$  realizan la negociación y la realizan a un precio de 1500 para el vendedor y 1600 para el comprador, y la diferencia  $(1600-1500)*1$  será asignada al subastador.

Supongamos ahora las ofertas de los compradores como se muestra en la tabla 2.

**TABLA 2.** OFERTAS DE COMPRA

Compradores ( $B_k$ )	
$B_1$	1800
$B_2$	1600
$B_3$	1100
$B_4$	1000
$B_5$	800

Análogamente a la situación analizada anteriormente, tenemos que el valor de  $k$  encontrado es 2, ya que se cumple con (2) la relación  $B_2 > S_2$  y  $S_3 > B_3$ . Es decir, el nuevo valor  $P_2$  será calculado con  $S_3$  y  $B_3$  lo que da un valor de 1550.

Se puede notar que se cumple la relación de  $S_2 < B_2$  con  $S_2$  y  $B_2$  descrita en el paso 1 del protocolo para las DA, es decir  $S_2 < B_2$ .

Por lo tanto, las transacciones se realizan con los compradores y vendedores desde 1 hasta  $k$  (con  $k=2$ ) a un valor de  $P_2 = 1550$ .

### C. MABS

La simulación por computador puede definirse como la disciplina de diseñar un modelo de un sistema real o teórico, ejecutando el modelo en un computador y analizando los resultados de la ejecución. El diseño del modelo asocia el sistema real con una representación de este sistema.

En el campo de la simulación de sistemas por computador se han desarrollado muchas técnicas, entre las cuales pueden

encontrarse la simulación orientada a objetos, la simulación de eventos discretos, la microsimulación dinámica y la simulación basada en sistemas multi-agente (Multi-Agent Based Simulation - MABS). Dentro de estas áreas, vale la pena hacer énfasis en MABS, debido a las ventajas que esta técnica representa, y a su creciente acogida en el mundo científico.

MABS es una rama de la Inteligencia Artificial Distribuida que constituye una base para simular sistemas en los cuales hay muchos componentes y muchas interacciones entre ellos. El modelo de simulación está compuesto por múltiples agentes de software autónomos con reglas específicas de comportamiento que interactúan entre sí, y que pueden correr concurrentemente y ser distribuidos en múltiples computadores. Los agentes interactúan con los demás agentes enviándoles mensajes a ellos y al sistema que emerge de su comportamiento colectivo. La descomposición del sistema en agentes permite una fácil extensión, integración y sustitución de agentes [8].

A diferencia de la simulación numérica, donde el conocimiento sólo puede ser representado por medio de variables y relaciones entre variables, MABS permite un amplio rango de representaciones (fórmulas, reglas, heurísticas, procedimientos). Con esta técnica pueden definirse diferentes tipos de entidades, y puede haber heterogeneidad interna en cada uno de los tipos [9].

La utilización de esta aproximación metodológica para el estudio de sistemas complejos está creciendo en la actualidad en muy diversos campos científicos, como la economía, ecología, teoría organizacional, etc. Una explicación de este creciente interés en esta técnica se debe a la posibilidad de incorporar de forma casi directa e intuitiva los comportamientos observados en el mundo real mediante un modelo computacional; es decir, MABS trata de hacer un mapeo directo y natural de las entidades del mundo real que actúan en la simulación. Este hecho permite conseguir representaciones muy refinadas y detalladas de los individuos, con la esperanza de que este nivel de detalle permita mayor realismo al modelo. Esto es particularmente útil si el mundo que está siendo simulado consta de múltiples organizaciones, o de humanos. Por tal razón, el dominio de mayor aplicación de MABS ha sido la simulación social [10].

Por medio de la simulación multi-agente pueden descubrirse propiedades emergentes, esto es, propiedades que surgen de las interacciones entre los agentes y que no pueden ser deducidas de la simple agregación de las propiedades de éstos. Se inicia especificando ciertas presunciones sobre los agentes y sus interacciones, y después se utilizan técnicas de simulación informática para generar el conjunto de "historias" que pueden revelar las consecuencias dinámicas de estas presunciones una vez puesto en funcionamiento el sistema resultante.

Algunas de las características más importantes de MABS son [11]:

- El soporte de comportamientos proactivos, que es importante al simular agentes con la capacidad de tomar iniciativa y actuar sin estímulos externos.
- Soporta la computación distribuida de manera natural. Como cada agente está implementado como un proceso o un hilo, es fácil permitir diferentes agentes corriendo en diferentes máquinas. Esto permite mejor rendimiento y escalabilidad.
- Debido a que cada agente está implementado como un proceso aparte y puede comunicarse con otros usando un lenguaje común, es posible añadir o eliminar agentes durante la simulación, sin interrupción. Esto permite escenarios de simulación altamente dinámicos.
- Es posible programar (o al menos especificar) el modelo de la simulación en un nivel muy alto (en términos de creencias, intenciones, etc.), haciendo más fácil a los no programadores entender y participar en el proceso de desarrollo del software.
- Ha probado ser un método adecuado para la simulación de situaciones donde hay un gran número de agentes heterogéneos, que pueden comportarse de forma algo diferente.

#### *D. Estado del arte*

La microestructura del mercado analiza, entre otros aspectos, el impacto que la estructura del mercado o conjunto de reglas que gobiernan el funcionamiento de un mercado, tiene sobre el comportamiento de los inversores y los costes que éstos sufren a la hora de realizar transacciones.

En este contexto, los mercados financieros de agentes computacionales o mercados financieros artificiales, basados en simulación, emergen como una novedosa y prometedora herramienta para el estudio de la microestructura.

Actualmente, se trabaja en el análisis económico por medio de simulaciones, y específicamente pueden encontrarse trabajos relacionados con bolsas de valores y subastas de doble punta, el cual es el tema en el que se enfoca este artículo. A continuación, hacemos referencia a algunos trabajos representativos que han sido desarrollados en estas áreas.

En [12] se presenta una simulación de bolsa de valores basada en agentes, en la cual cada agente utiliza una combinación de procedimientos basados en inferencia de criterios de información común. Los agentes en el modelo compiten con los demás usando un rango de diferentes técnicas de inferencia para encontrar los parámetros y el orden apropiado de modelos simples y autorregresivos de la evolución de los precios en la bolsa.

En [13] se presenta un modelo de simulación para representar los procesos de negociación en el mercado de valores. El enfoque está basado en agentes donde cada agente tiene un comportamiento híbrido con procedimientos de inferencia;

algunos agentes tienen un comportamiento aleatorio que sirven para comprobar la efectividad de los que emplean inferencia, y otros funcionan empleando modelos autorregresivos. Los negociadores en el modelo compiten entre sí para estimar mejor los parámetros y los modelos de la evolución de los precios de las acciones. Este modelo se basa en las subastas de doble punta en la que los vendedores y compradores participan en varias iteraciones.

En [14] se analiza cómo influye la implantación de agentes de software en el comportamiento de mercados humanos. Se insertan unos agentes con un comportamiento básico en un mercado experimental que consiste en una subasta de doble punta, estos agentes utilizan una estrategia de búsqueda pasiva arbitraria. El objetivo es estudiar cómo afecta la influencia de la existencia de agentes de software dentro del sistema. Se encontró que con el conocimiento común de la existencia de los agentes y con la estrategia programada había un mercado de precios más eficiente. Sin embargo, resulta que el mercado es ineficiente en el caso de que no haya información sobre los agentes.

En [15] se muestra una simulación del mercado financiero con las subastas de doble punta que está realizado por una población de agentes que comercializan acciones por efectivo. La comercialización está sujeta a las limitaciones monetarias. El límite de los precios de los pedidos puede depender de la volatilidad de los mercados pasados. También se investigan dos aspectos importantes en los límites de las órdenes, los cuales tratan los tiempos de distribución de espera entre dos transacciones consecutivas y el impacto instantáneo en los precios. Muestra tanto teóricamente como a través de simulaciones que si los tiempos de espera son distribuidos exponencialmente, los tiempos de espera del comercio también lo son.

En [16] se trata la especificación formal, simulación y verificación de una subasta en línea basada en agentes. Se hace uso de técnicas bien establecidas y herramientas de los sistemas distribuidos para especificar y verificar propiedades de los protocolos de interacción en sistemas multi-agente, y se simula su comportamiento antes de la implementación.

### III. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

A continuación, presentan las diferentes fases de la metodología Sigma para el desarrollo de modelos de simulación basados en el paradigma multi-agente (MABS) propuesta por el grupo GIDIA, para el caso de estudio de la subasta de doble punta.

#### A. Fase de conceptualización

En este modelo describimos las relaciones que se presentan entre las entidades que hacen parte del sistema, con un nivel de abstracción elevado.

Se identificaron tres actores: compradores, vendedores y subastador. Estos interactúan en el sistema por medio de la

realización de una subasta, dentro de la cual cada actor tiene una función. Los vendedores registran ofertas de venta, y los compradores, ofertas de compra. Estos registros son los que permiten en un momento dado iniciar la subasta.

Luego del registro de ofertas, se realiza un calce automático, mediante el cual se cierra la subasta y se relaciona a los compradores y vendedores con precios de compra y venta compatibles, con el fin de realizar una transacción.

La figura 1 presenta el diagrama de casos de uso para el proceso de la subasta de doble punta, además es complementado por medio de una plantilla que se muestra en la tabla 3.

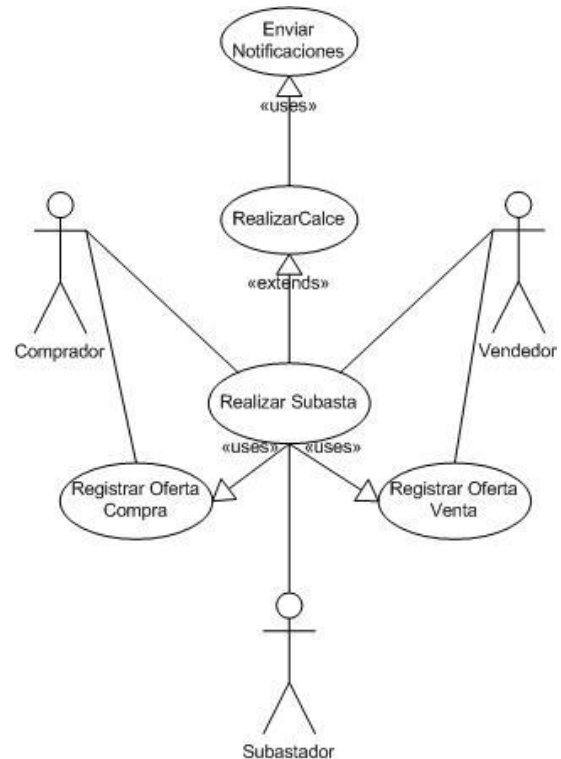


Figura 1. Diagrama de casos de uso

TABLA 3. PLANTILLA DE CASOS DE USO

Actores involucrados	Comprador, vendedor, subastador
Objetivos asociados	Transar acciones entre compradores y vendedores.
Descripción	Existe una pizarra donde varios compradores y vendedores ingresan sus ofertas de compra y venta, luego de cierto tiempo, se realizan los calces de acuerdo al protocolo de subasta de doble punta; cuando una oferta de venta y una de compra calzan, se realiza la negociación respectiva.
Precondiciones	Se deben ingresar al menos una oferta de compra y una oferta de venta para realizar calces.
Flujos alternativos	Si no existen calces posibles, no se realiza ninguna negociación.
Poscondiciones	Luego de realizar calces, el subastador notifica a los participantes involucrados.

## B. Fase de análisis

Haciendo uso de varios modelos conceptuales, en esta fase se pretende representar la estructura y el comportamiento del sistema.

### 1) Modelo de Roles

En este modelo presentamos el papel llevado a cabo por cada entidad dentro del sistema. Se identifican tres roles, correspondientes a los tres actores del modelo de casos de uso. Los compradores, vendedores y el subastador interactúan mediante relaciones de comunicación - colaboración, ver figura 2.

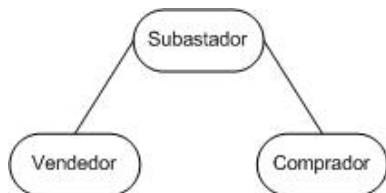


Figura 2. Diagrama de roles

### 2) Modelo de tareas

En este modelo se detalla la funcionalidad de cada rol, describiendo cada una de las tareas de éstos como una secuencia de actividades, teniendo en cuenta sus capacidades, la información que necesitan y su interacción con el entorno.

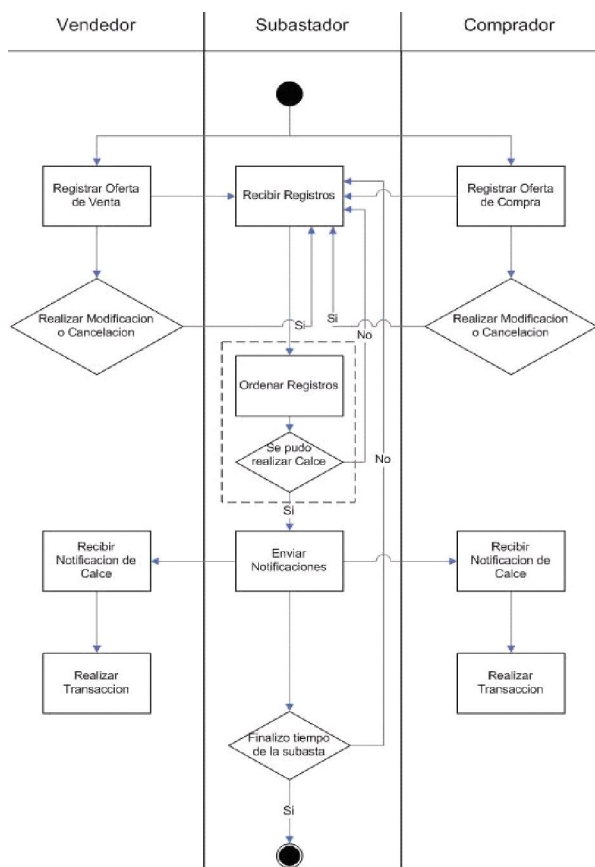


Figura 3. Diagrama de actividades

El proceso de la subasta de doble punta consiste en que compradores y vendedores registran sus ofertas de venta y compra, respectivamente. Una vez enviada la oferta al subastador tienen un rango de tiempo dentro del cual pueden modificar o cancelar su oferta.

Cuando el subastador recibe ofertas de compra y venta, hace una ordenación de todas éstas para determinar si ya es posible realizar el calce. En caso de que no sea posible, sigue recibiendo registros; de otra manera, procede a enviar notificaciones a los compradores y vendedores, quienes finalmente realizan la transacción.

Si el tiempo de la subasta aún no ha terminado, el subastador empieza a recibir nuevamente ofertas; en caso contrario, se cierra la subasta. Este modelo se apoya en un diagrama de actividades con la notación UML como medio de representación, como se muestra en la figura 3.

### 3) Modelo de razonamiento y aprendizaje

Con este modelo se busca representar las estructuras de razonamiento que emplean los diferentes roles del sistema, con el fin de llegar a alcanzar algunos de los objetivos que tienen asociados. El artefacto que se utiliza para este propósito es el diagrama de flujo, pero por motivos de espacio no se incluye en este artículo. Basta mencionar sin embargo, que en el caso del rol comprador, tal razonamiento tiene en cuenta variables de interés como la rentabilidad media de las acciones y sus volatilidades para determinar la probabilidad de comprar una determinada acción y en qué cantidad durante un momento específico. Un razonamiento similar es llevado a cabo por el rol vendedor aunque obviamente con el fin de determinar cuándo debe "salir" de las acciones que ha comprado.

### 4) Modelo de Ontologías

En este modelo se definen la estructura y el significado de los principales conceptos que serán comunicados entre los agentes, y sus relaciones. No se toma en cuenta aún la forma en que se empaquetan y transportan los mensajes. A continuación, mediante un diagrama de conceptos, ver figura 4, se presentan los conceptos de la ontología, y la cardinalidad de sus relaciones.

### 5) Modelo de coordinación

Este modelo describe de una manera más detallada las interacciones que se dan entre los agentes, presentando como una secuencia de mensajes, el protocolo que seguirán los agentes para su comunicación. Este modelo es apoyado por un diagrama de secuencia de mensajes donde se representa el flujo de intercambios de mensajes agrupados por conversaciones, tal como se muestra en la Figura 5.

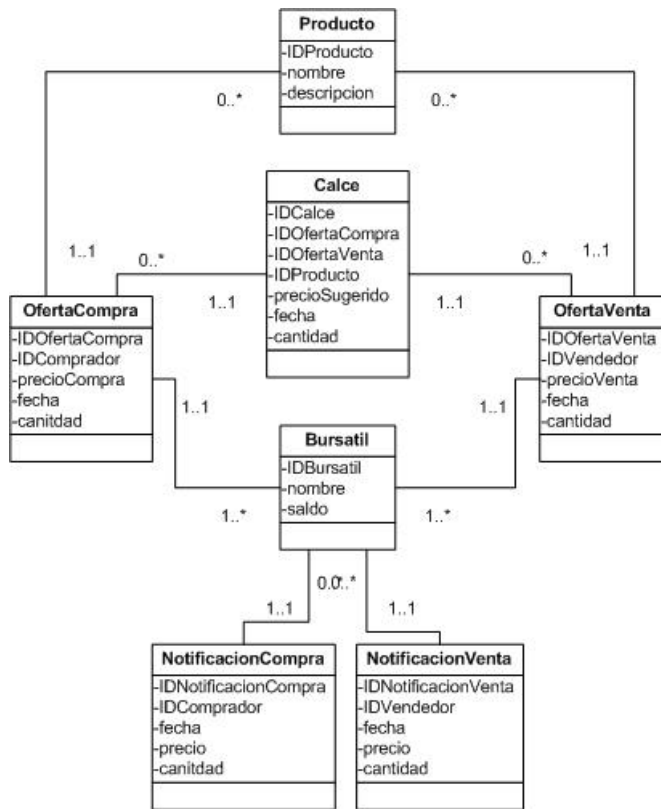


Figura 4. Diagrama de conceptos

C. Fase de diseño

En esta fase se especifica cómo se va a realizar lo que se dispuso en las fases de análisis y conceptualización, aquí se definen los requisitos funcionales del sistema y se introducen los no funcionales y que deben tenerse en cuenta a la hora de la implementación. En esta fase también se capturan aspectos técnicos relacionados con la implementación que en las fases anteriores no habían sido considerados. A continuación, se presentan los modelos junto con sus artefactos incluidos en esta fase de acuerdo a la metodología trabajada.

1) Modelo de agentes

En este modelo se especifican los tipos de agentes del sistema, junto con sus instancias en ejecución. Se hace un mapeo entre agentes y los roles definidos en la fase de análisis.

En la figura 6 se muestra el árbol de tipos de agentes que es el artefacto utilizado en este modelo, se puede ver que se tienen dos tipos de agentes, agente subastador y agente bursátil, donde el agente bursátil corresponde tanto al rol de comprador como de vendedor, esto es debido a que un participante en el sistema puede comprar o vender acciones. Pueden haber cero o muchos agentes bursátiles funcionando en el sistema. Por otro lado, el agente subastador es único y sólo puede haber una instancia de éste corriendo en un determinado momento en el sistema, este agente es el que administra y coordina la dinámica del sistema.

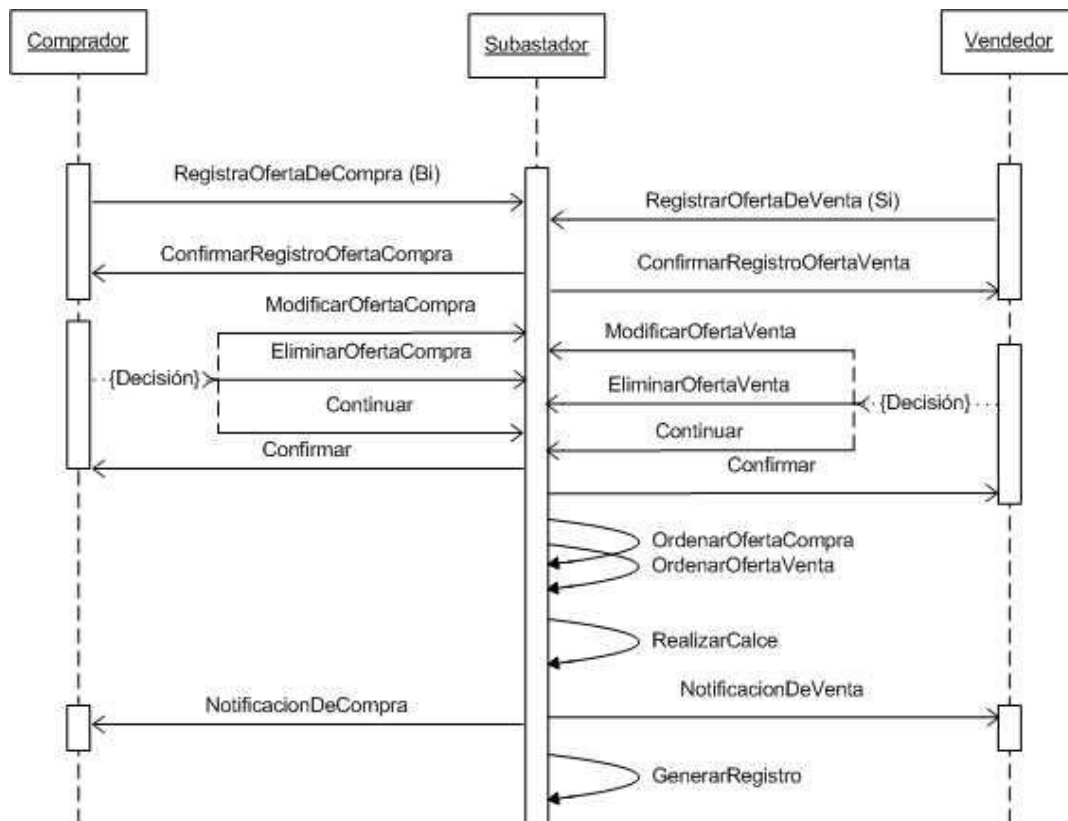


Figura 5. Diagrama de secuencia de mensajes

## 2) Modelo de comunicación

En este modelo se especifican los requerimientos de las comunicaciones entre los agentes desde el punto de vista del transporte de los mensajes. Primero hay que precisar que, dado que JADE será la plataforma usada para el manejo de los agentes de software del modelo, son necesarios algunos agentes adicionales para administrar dicha comunicación: Un Agente Servidores de Nombres - ANS que se encarga de proveer el servicio de registro de los agentes en la plataforma y de brindarles un identificador único, un Agente Facilitador - DF que presta el servicio de "páginas amarillas" a través del cual un agente puede encontrar a otro que preste el servicio que requiera, y un Agente de Canal de Comunicaciones - ACC que se encarga de coordinar el intercambio de mensajes entre los agentes.

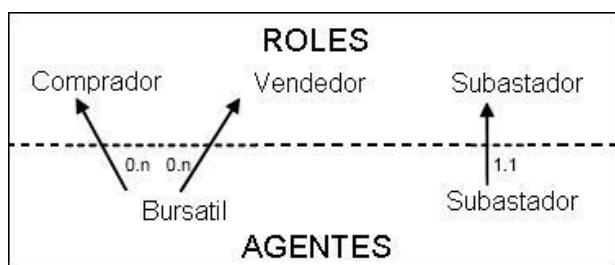


Figura 6. Árbol de tipos de agentes

Otro aspecto a considerar es que, dada la plataforma elegida, el lenguaje de transporte utilizado es FIPA ACL pues es el que dicha plataforma determina. Por último, es necesario agregar que dada la naturaleza del problema abordado, no se utilizarán protocolos definidos en algún estándar como FIPA [17], tales como FIPAContractNet, FIPAEnglishAuction, sino que se emplearán protocolos propios como el especificado en el diagrama de secuencias del modelo de coordinación.

## 3) Modelo de plataforma

En este modelo se documentan las decisiones de bajo nivel sobre las características de la plataforma sobre la que se montará el sistema, como el lenguaje de implementación seleccionado, el software y hardware empleado, etc.

En la figura 7 se muestra el diagrama de despliegue el cual es el artefacto utilizado en este modelo, allí se especifican tres computadores, en el primero se encuentra un único agente subastador, e instancias de agentes compradores y vendedores. En el computador dos, hay instancias de agentes compradores y en el tres hay instancias de agentes vendedores. Además, los computadores dos y tres se comunican con el primer computador por medio del protocolo RMI para invocar remotamente a sus métodos. El agente Subastador guarda en una base de datos un historial con los calces realizados a lo largo de la subasta y podrá tener información del mercado, lo que permitirá generar un precio sugerido para los compradores y vendedores. La configuración presentada es propia del prototipo utilizado para el análisis de resultados del presente artículo.

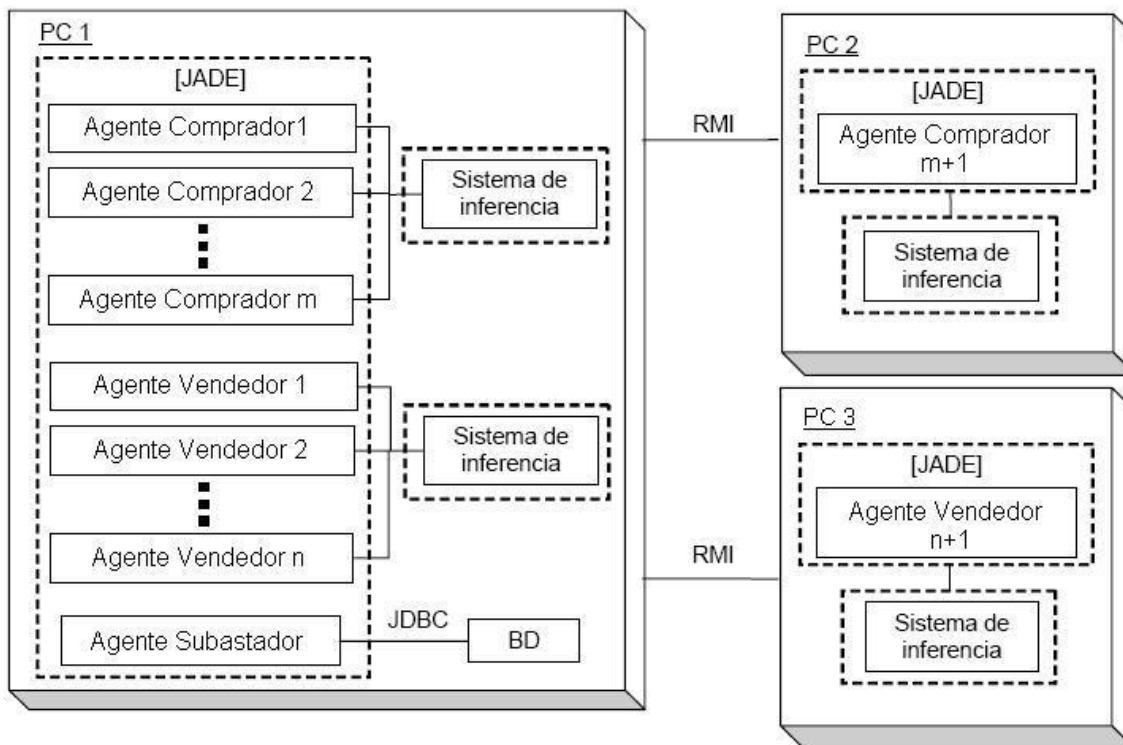


Figura 7. Diagrama de despliegue

#### IV. RESULTADOS PRELIMINARES

Para validar los modelos presentados en la sección anterior se desarrolló un prototipo computacional siguiendo la arquitectura presentada en la Figura 7. Este prototipo está basado en la plataforma JADE (Java Agent DEvelopment Framework), mientras que el desarrollo de las ontologías se llevó a cabo mediante la herramienta Protégé [18] junto con el plugin BeanGenerator [19], debido a que esto facilita mucho la creación de ontologías gracias a su interfaz amigable y fácil de utilizar, esto permite un ahorro significativo de tiempo en la implementación, además de que genera el código en Java que se utiliza en la plataforma JADE para las ontologías.

#### V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El punto de partida del trabajo referenciado en este artículo es obtener una simulación fidedigna del mercado bursátil Colombiano, específicamente de la transacción de acciones mediante el mecanismo de subasta de doble punta.

Para lograr esto el uso del paradigma de Simulación Basada en Sistemas multi-agente - MABS que se propone en este artículo resulta muy adecuado debido a la naturaleza de las interacciones que se llevan a cabo entre los participantes de este mercado y a los comportamientos emergentes que éstas pueden producir.

En el desarrollo del modelo presentado en este artículo se comprobó que la metodología utilizada para su modelamiento es robusta y permite representar en un nivel adecuado de detalle cada uno de los requerimientos conceptuales y técnicos del sistema así como requerimientos funcionales y no funcionales que son importantes a la hora de la implementación.

Si bien los resultados preliminares obtenidos han sido muy alentadores dado que se ha logrado reproducir el comportamiento de un mercado real al menos en la parte operativa, somos conscientes de que el trabajo por realizar todavía es demasiado. En particular como trabajo futuro inmediato se tiene previsto implementar mecanismos de razonamiento más complejos para los agentes bursátiles que tomen en cuenta tendencias del mercado para así poder realizar una oferta de compra o de venta de la mejor manera posible maximizando sus ganancias de acuerdo a sus perfiles de riesgo. Como métodos de razonamiento se tiene contemplado probar redes neuronales, lógica difusa, y se evaluará su desempeño comparándolos con otros métodos como modelos de regresión y comportamientos aleatorios, teniendo en cuenta algunas métricas definidas como las expuestas en el trabajo de Pastrana y Ovalle [20].

También es importante mencionar que la metodología seguida en el desarrollo de este artículo, plantea en su fase de análisis un modelo de entorno en el cual se describen los componentes

del sistema que no son agentes, pero que de alguna forma intervienen con los procesos llevados a cabo por éstos. Este modelo no se contempló en este artículo y también hace parte del trabajo futuro pues se tiene previsto modelar diversas variables exógenas como la inflación y la TRM que son analizadas por los agentes bursátiles en su toma de decisiones.

#### RECONOCIMIENTOS

El trabajo de investigación presentado en este artículo es financiado por la Dirección Nacional de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia - DINAIN por medio del proyecto "Modelo de simulación multi-agente del proceso de negociación de acciones en la bolsa de valores de Colombia".

#### REFERENCIAS

- [1]S. van der Hoog, (2004) 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.
- [2]Das R., Hanson J., Kephart J., Tesauo G. (2001) Agent-human interactions in the continuous double auction. International Joint Conferences on Artificial Intelligence.
- [3]Moreno, J., Velásquez, J. y Ovalle, D (2007). Una aproximación metodológica para la construcción de modelos de simulación en el paradigma multi-agente. Revista Avances en Sistemas e Informática Vol. 4 No. 2. Pp 145-154.
- [4]Bellifemine, F., Poggi, A., Rimassa, G. (1999) JADE - A FIPA compliant agent framework.
- [5]Álvarez G., Alfonso. (2007) Análisis bursátil con fines especulativos: un enfoque técnico moderno. Ed. Limusa. Pág 20-49.
- [6]Wurman P., Walsh W., Wellman M. (1998) Flexible double auctions for electronic commerce: Theory and implementation. Decision Support Systems.
- [7]Yokoo M., Sakurai y., Matsubara S. (2001) Robust Double Auction Protocol against False-name bids. The 21st IEEE International Conference on Distributed Computing Systems.
- [8]Gehrke Jan D. (2008) Collaborative Experimentation Using Agent-based Simulation. Center for Computer Technologies TZI. Universität Bremen, Alemania.
- [9]Drogoul A, Vanbergue D, Meurisse T. (2003) Multi-Agent Based Simulation: Where are the Agents? Université Paris 6.
- [10]Galán J, Paredes A, Del Olmo R. (2004) Simulación de sociedades artificiales de agentes y autómatas celulares en Ingeniería de Organización: aplicación a la gestión del agua. VIII Congreso de Ingeniería de la Organización. España.
- [11]Davidson P. (2000) Multi Agent Based Simulation: Beyond Social Simulation. Department of Software Engineering and Computer Science. University of Klarskrona/Ronneby, Suecia.
- [12]McGregor J. Collie, David L. Dowe and Leigh J. Fitzgibbon. (2005) Stock Market Simulation and Inference Technique. Clayton School of Information Technology. Melbourne, Australia.
- [13]Collie, M. J., Dowe, D. L. & Fitzgibbon, L. J. (2005) Stock Market Simulation and Inference Technique. In Proceedings of the Fifth International Conference on Hybrid Intelligent Systems. Pp. 534-538.
- [14]Grossklags, J & Schmidt C. (2003) Artificial Software Agents on Thin Double Auction Markets - A Human Trader Experiment. In Proceedings of the IEEE/WIC International Conference on Intelligent Agent Technology.

- [15] Raberto M., Cincotti S. (2005) Modeling and simulation of a double auction artificial financial market, *Physica A* 355, pp. 34-45.
- [16] Chen B. y Sadaoui S. (2003) Simulation and Verification of a Dynamic Online Auction. Departamento de ciencias de la computación, Universidad de Regina, Canadá.
- [17] O'Brien, P. D. Nicol, R. C. (1998) FIPA - Towards a standard software agents.
- [18] Protégé documentation. Getting Started With Protégé, 2000.
- [19] Beangenerator. Universiteit van Amsterdam. <http://protege.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?OntologyBeanGenerator>. Consultada el 24/11/2008.
- [1] Pastrana D. Marcela, Ovalle C. Demetrio. (2007) Método de comparación utilizando métricas de calidad para protocolos de negociación electrónica en sistemas multi-agente. DYNA.



**Alejandra Escobar Garcés**, es estudiante de noveno semestre de Ingeniería de Sistemas e Informática en la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Actualmente se desempeña como auxiliar de investigación en el proyecto "Modelo de simulación multi-agente del proceso de negociación de acciones en la bolsa de valores de Colombia". Entre sus áreas de interés se destacan la Inteligencia Artificial Distribuida y los Sistemas Multi-agente.



**Julian Moreno Cadavid**, es Profesor Auxiliar, de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Ingeniero de sistemas e informática (2004). Magíster en Ingeniería de Sistemas (2007). Integrante de GIDIA: Grupo de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial, Categoría A de Colciencias. El área de énfasis de su investigación es la Inteligencia Artificial aplicada a diversos problemas académicos y de la industria. Más específicamente ha trabajado en sistemas híbridos que integran Sistemas Expertos, Sistemas Neuro-Difusos,

Sistemas Multi-Agente, Aprendizaje de Máquina, junto con otras herramientas, para la modelación, simulación, pronóstico y apoyo a la toma de decisiones en diferentes dominios como los Mercados de Energía, los Mercados Bursátiles, los Sistemas Eléctricos de Potencia, el e-Learning, entre otros.



**Sebastián Múnera Álvarez**, es estudiante de octavo semestre de Ingeniería de Sistemas e Informática en la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Actualmente se desempeña como auxiliar de investigación en el proyecto "Modelo de simulación multi-agente del proceso de negociación de acciones en la bolsa de valores de Colombia". Entre sus áreas de interés se destacan la Simulación Basada en Sistemas Multi-Agente, Sistemas Complejos, Inteligencia Artificial y Bases de datos.