



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERÍA EN INFORMÁTICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

**MODELADO DE UN MERCADO
FINANCIERO MEDIANTE UN
SISTEMA MULTIAGENTE**

AUTOR: CHRISTIAN DIEZ GIRONA

MADRID, junio de 2006

Autorizada la entrega del proyecto al alumno:

Christian Díez Girona

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Jesús Peco González

Fdo:

Fecha:

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Miguel Ángel Sanz Bobi

Fdo:

Fecha:



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERÍA EN INFORMÁTICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

**MODELADO DE UN MERCADO
FINANCIERO MEDIANTE UN
SISTEMA MULTIAGENTE**

AUTOR: CHRISTIAN DIEZ GIRONA

MADRID, junio de 2006

Resumen

MODELADO DE UN MERCADO FINANCIERO MEDIANTE UN SISTEMA MULTIAGENTE.

AUTOR: Díez Girona, Christian.

DIRECTOR: Peco González, Jesús.

ENTIDAD COLABORADORA: Instituto de Investigación Tecnológica, ICAI.

El título del presente proyecto identifica en sí mismo los dos elementos primordiales del desarrollo. El objetivo principal es extraer la estructura del primero e integrarla en el segundo, conformando juntos un único sistema de operación.

Los sistemas multiagente son una tecnología emergente basada en técnicas de Inteligencia Artificial. El mercado financiero, motor de potencias económicas, se entiende en este caso como el lugar donde se negocian activos financieros.

La mayor atribución de un Sistema Multiagente es su aptitud social, representada por un conjunto heterogéneo de agentes autónomos capaces de cooperar, coordinar y negociar entre sí. Esto hace del sistema multiagente la herramienta apropiada para la implantación de un modelo de mercado, entendiendo el mercado como elemento emergente de la interacción social.

El desarrollo e implantación de todo sistema multiagente requiere de una infraestructura que provea numerosas funcionalidades a distintos niveles. El JADE Agent Toolkit provee dicha infraestructura. Habiendo seleccionado JADE tras el pertinente estudio del arte, se levanta sobre dicha plataforma las bases del sistema: características del entorno, estructura de agentes, comunicaciones y ontología.

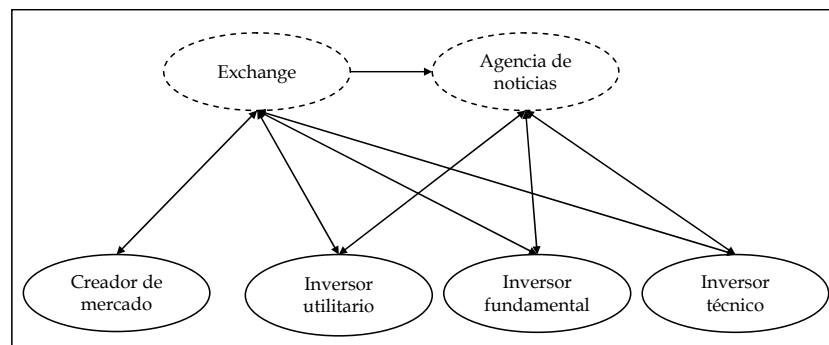
El primer paso hacia el modelado del mercado es comprender las fuerzas que interactúan y son causa de la evolución del precio, es decir, entender la microestructura del mercado financiero. Estas fuerzas son, en última instancia, entidades participantes del mercado: véase personas, empresas o corporaciones internacionales que compran o venden acciones.

Se han de identificar cada uno de estos participantes y posteriormente equiparlos a agentes inteligentes. Cada agente debe ser dotado de un comportamiento reactivo, proactivo y aptitud social que rijan la actuación del mismo por pautas similares al participante que representa en el mundo real.

Los participantes identificados han sido cuatro: el inversor utilitario, aquel que invierte con el objetivo de obtener otra serie de beneficios más allá de los proporcionados por la inversión; el inversor fundamental, guiado por el valor fundamental de los activos frente al precio; el inversor técnico o especulador, que cree que toda la información que influye en el precio está contenida en el propio precio; y el creador de mercado o market maker, elemento primordial que aporta liquidez y crea mercado.

A estos cuatro agentes participantes se han de sumar dos más, elementos necesarios de todo mercado: son la agencia de noticias, proveedor de la información requerida por los inversores; y el exchange, lugar en el que se llevan a cabo las casaciones.

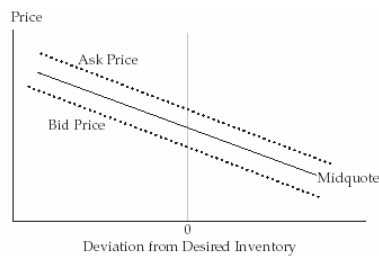
En la siguiente figura se muestra el sistema multiagente resultante, detallando los flujos de comunicación entre agentes:



El agente inversor utilitario, muchas veces denominado masa, representa a los pequeños inversores que prestan poca atención a sus inversiones. El agente inversor fundamental, compra si el precio está por encima del valor fundamental y vende en caso contrario –el mercado tiene su propio valor fundamental que oscila en el tiempo–. El agente inversor técnico, en base a su análisis técnico se guiará por la media móvil, ya sea de 10, 20 ó 30 unidades de tiempo.

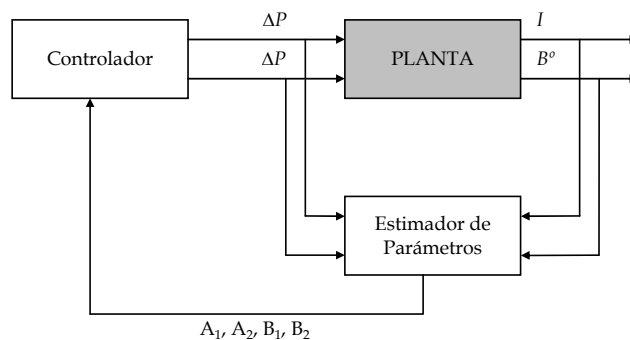
Por último, el agente diferenciado por su carencia de comunicación con la agencia de noticias, es el creador de mercado. Tiene el compromiso de aportar liquidez y la oportunidad de generar beneficios. La literatura financiera identifica en esta figura dos

actitudes principales: el control de inventario y la optimización de su beneficio. El control de inventario justifica los precios en base al desvío de inventario, Annanth Madhavan lo representa en la forma siguiente:



Debido a su complejidad: la exigencia de un agente autónomo –dotado de un comportamiento reactivo y proactivo–, capaz de modelar su entorno, aprender en base a la experiencia y predecir el futuro; se implementa sobre este último un controlador adaptativo digital.

El Control Adaptativo Digital es un sistema de control que adapta su comportamiento conforme a las nuevas circunstancias. Permite modelar la realidad no lineal por medio de la Función de Transferencia y la Transformada de Laplace en un modelo matemático lineal. El controlador diseñado para el creador de mercado es de la forma:



Ejerce control sobre dos elementos, inventario y beneficio, en función del incremento de precio. La transformada de Laplace utilizada es de orden 1, motivada por la recta del control de inventario. Las ecuaciones del estimador de parámetros son, por lo tanto:

$$I(j) = A_1 \cdot I(j-1) + A_2 \cdot \Delta P(j)$$

$$B^\circ(j) = B_1 \cdot B^\circ(j-1) + B_2 \cdot \Delta P(j)$$

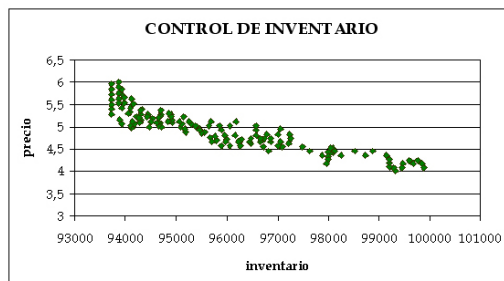
El controlador, como problema de optimización, maximiza el beneficio penalizando el desvío de inventario en proporción a una constante k :

$$\max \sum_{j=1}^n B^o(j) - k \cdot \sum_{j=1}^n (I(j) - I_{ref})^2$$

El sistema está dotado con una serie de funcionalidades extendidas: dispone de un fichero de configuración XML que permite ajustar los parámetros de los agentes; muestra gráficos de información en tiempo real; y genera estadísticas on demand para cada simulación, especialmente útiles en el análisis de resultados.

El objeto resultante es un sistema integrado en el que agentes dispares interactúan entre sí y trabajan en pro de objetivos individuales en un juego de suma cero. El análisis de resultados muestra características propias del mercado y habla a favor de la integración de sistemas multiagente y mercados financieros.

El gráfico de dispersión de control de inventario generado consecuencia del control adaptativo digital se corresponde con la figura de Annanth Madhavan como se puede observar a continuación:



Se confirma así la integración entre agente inteligente y control adaptativo digital.

A modo ilustrativo un precio generado por el sistema tiene la forma del gráfico siguiente. En otras ocasiones el precio ha formado resistencias, soportes y tendencias, incluso retrocesos Fibonacci.



Summary

A FINANCIAL MARKET MODEL IMPLEMENTATION ON A MULTIAGENT SYSTEM

AUTHOR: Díez Girona, Christian.

DIRECTOR: Peco González, Jesús.

COLABORATION ENTITY: Instituto de Investigación Tecnológica, ICAI.

The project main objective is the development of a financial stock market model and its implementation on a multiagent system.

Multiagent Systems are a brand new technology part of Artificial Intelligence. The Financial Market is understood in this case as a place where financial shares are traded.

The principal characteristic of a multiagent system is its social aptitude, described as the interaction between a heterogeneous group of autonomous agents with the ability to cooperate, coordinate and negotiate. This makes a multiagent system a suitable tool to implement a market model, being the market consequence of a social interaction.

Developing and implementing any multiagent system requires a solid infrastructure equipped with a wide range of functionalities at different levels. Agent Toolkits provide this infrastructure. JADE, an agent toolkit, makes up the platform and basis of the system: environment, agents structure, communications and ontology.

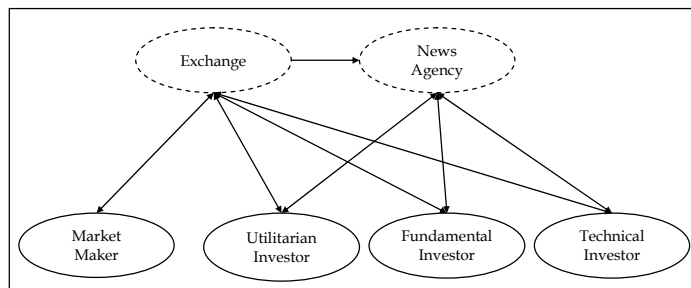
The first step towards the market model is to understand the elements that interact and cause the price activity, called financial market microstructure. These interactions are actually the market participants: people, companies or world wide corporations buying or selling shares.

It is necessary to identify each of these market participants with an intelligent agent. Every agent must be able of a reactive, proactive and social aptitude in order to represent its participant of the real world.

The identified participants are four: the utilitarian investor, who invests without interest on obtaining profits; the fundamental investors, who follows the prices fundamental value; the technical investor, who develops the technical analysis; and the market maker, as well called dealer or specialist, who provides liquidity and makes the market.

In addition, two more agents are needed because of the market requirements: the news agency, who provides the information demanded by the investors; and the exchange, place where all orders are sent.

The following figure shows the current multiagent system describing the communications between agents:



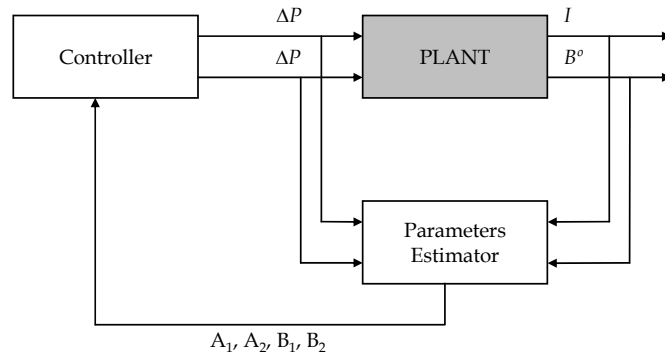
The utilitarian agent represents most of the home investors that don't really pay attention to their investments. The fundamental agent buys if the price is under the fundamental value and sells in the opposite case. The technical investor, following its technical analysis buys or sells based on the moving average, which can be of 10, 20 or 30 time units.

Finally, the market maker is forced to add liquidity to the market and, at the same time, has the opportunity to make profits on it. Economic literature justifies market maker behaviour in two main arguments: inventory control and profits optimization. The inventory control implies prices activity as consequence of the inventory deviation; Annanth Madhavan represents it in the following way:



Due to the complexity of the market maker: need of autonomous behaviour, able to model the environment, learn based on experience and future planning; a different way of implementing the model is needed: digital adaptive control.

Digital Adaptive Control is a control system able to adapt its behaviour to new circumstances. Allows modeling the non linear reality with the Transference Function and the Laplace Transformation into a mathematical lineal model. The digital adaptive controller designed for the market maker is the following one:



It controls two elements, inventory and profits, based on the prices increments. The equations of the parameters estimator are order 1 Laplace Transformation:

$$I(j) = A_1 \cdot I(j-1) + A_2 \cdot \Delta P(j)$$

$$B^o(j) = B_1 \cdot B^o(j-1) + B_2 \cdot \Delta P(j)$$

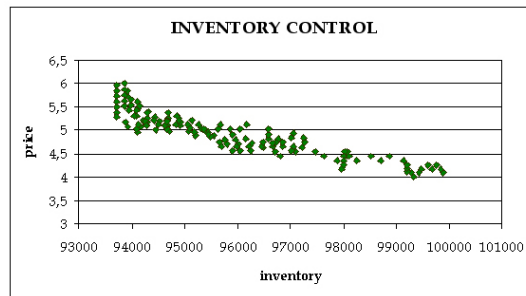
The controller, as an optimization problem, maximizes the profits penalizing the inventory deviation in amount to a constant k:

$$\max \sum_{j=1}^n B^o(j) - k \cdot \sum_{j=1}^n (I(j) - I_{ref})^2$$

The system is equipped with several extended functionalities: a XML configuration file; real time graphics; and statistics on demand.

The end result is an integrated system where heterogeneous agents interact and work in order to reach individual targets in a zero-sum game. The price analysis shows typical characteristics of the financial market and proves the integration of multiagent systems and financial markets.

The following dispersion graph of the inventory control, generated by the digital adaptive control, shows to be similar to the figure of Annanth Madhavan:



This confirms, as well, the integration of the intelligent agent and the digital adaptive control.

A typical price generated by the system is:



Índice

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| 1.1 Motivación..... | 2 |
| 2 OBJETIVOS..... | 5 |
| 3 DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS..... | 7 |
| 3.1 Microestructura del Mercado Financiero..... | 7 |
| 3.1.1 <i>Propiedades de los Mercados Financieros</i> | 7 |
| 3.1.2 <i>Predicción en el mercado</i> | 8 |
| 3.1.3 <i>Órdenes</i> | 11 |
| 3.1.4 <i>Participantes del mercado</i> | 13 |
| 3.2 Sistemas Multiagente..... | 17 |
| 3.2.1 <i>Concepto de Agente Inteligente</i> | 17 |
| 3.2.2 <i>Arquitecturas para Agentes Inteligentes</i> | 19 |
| 3.2.3 <i>Interacción y Comunicación</i> | 20 |
| 3.2.4 <i>Aplicaciones Prácticas</i> | 23 |
| 3.3 Agent Toolkits..... | 24 |
| 3.3.1 <i>ZEUS</i> | 25 |
| 3.3.2 <i>JADE</i> | 27 |
| 3.3.3 <i>JACK</i> | 29 |
| 3.3.4 <i>Síntesis</i> | 30 |
| 3.4 Control Adaptativo Digital..... | 31 |
| 3.4.1 <i>Control, Control Adaptativo y Control Adaptativo Digital</i> | 31 |
| 3.4.2 <i>Diseño de un Controlador Adaptativo Digital</i> | 32 |
| 4 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DESARROLLADO | 36 |
| 4.1 Introducción..... | 36 |
| 4.1.1 <i>Mercado Financiero vs. Sistema Multiagente</i> | 36 |
| 4.2 Modelo..... | 37 |
| 4.2.1 <i>Identificación de los participantes</i> | 37 |
| 4.2.2 <i>Modelos Individuales</i> | 39 |
| 4.2.3 <i>Análisis de Entorno</i> | 49 |
| 4.3 Sistema - MASSM..... | 50 |
| 4.3.1 <i>Plataforma JADE</i> | 50 |
| 4.3.2 <i>Implantación del Modelo</i> | 53 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.3.3 | <i>Comunicaciones en el Sistema</i> | 61 |
| 4.3.4 | <i>Diagrama de Clases</i> | 65 |
| 4.3.5 | <i>Funcionalidades Extendidas</i> | 72 |
| 4.4 | Requisitos del Sistema | 76 |
| 4.4.1 | <i>Plataforma Software</i> | 76 |
| 4.4.2 | <i>Recursos Hardware</i> | 77 |
| 5 | SIMULACIÓN | 79 |
| 5.1 | <i>Plataforma y Contenedores</i> | 79 |
| 5.2 | <i>Arranque del Sistema</i> | 80 |
| 5.3 | <i>Ejecución del Sistema</i> | 81 |
| 6 | PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO | 85 |
| 6.1 | <i>Planificación del Proyecto</i> | 85 |
| 6.1.1 | <i>Estructura de Actividades</i> | 85 |
| 6.1.2 | <i>Estimación</i> | 86 |
| 6.1.3 | <i>Planificación temporal</i> | 86 |
| 6.2 | <i>Presupuesto</i> | 87 |
| 7 | ANÁLISIS DE RESULTADOS | 89 |
| 7.1 | <i>Integración del sistema</i> | 89 |
| 7.2 | <i>Estadísticas de actuación</i> | 90 |
| 7.3 | <i>Creador de Mercado y Control Adaptativo Digital</i> | 93 |
| 7.4 | <i>Necesidad de participación de todos los Agentes</i> | 96 |
| 7.5 | <i>El Precio</i> | 98 |
| 7.5.1 | <i>MASSM vs. New York SE</i> | 100 |
| 8 | CONCLUSIONES | 102 |
| 8.1 | <i>Integración del Mercado Financiero y un Sistema Multiagente</i> | 102 |
| 8.2 | <i>JADE como herramienta de Gestión y Desarrollo</i> | 103 |
| 8.3 | <i>Modelado del mercado</i> | 104 |
| 8.4 | <i>Control Adaptativo Digital regidor del Comportamiento</i> | 104 |
| 8.5 | <i>Requisitos Técnicos</i> | 105 |
| 8.6 | FUTUROS DESARROLLOS | 105 |
| 8.6.1 | <i>Nuevos inversores</i> | 106 |
| 8.6.2 | <i>Libre competencia de creadores de mercado</i> | 106 |
| 8.6.3 | <i>Entorno para el desarrollo experimental</i> | 107 |
| 9 | BIBLIOGRAFÍA | 109 |

| | | |
|----------|---|------------|
| A | MANUAL DE USUARIO..... | 113 |
| A.1 | Instalación del Sistema | 113 |
| A.1.1 | <i>Requisitos del Ordenador</i> | <i>113</i> |
| A.1.2 | <i>Extracción de los Ficheros</i> | <i>113</i> |
| A.2 | Ejecución del Sistema..... | 114 |
| A.2.1 | <i>Configuración de Parámetros</i> | <i>114</i> |
| A.2.2 | <i>Arranque de la Plataforma JADE</i> | <i>115</i> |
| A.2.3 | <i>Ejecución individual de los Agentes Inteligentes</i> | <i>116</i> |
| A.3 | Obtención de Resultados..... | 116 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Esquema del mercado financiero..... | 7 |
| Figura 2. Volatilidad trimestral. MSFT 2004 a 2006..... | 9 |
| Figura 3. Soporte, resistencia y tendencia positiva en análisis técnico. | 10 |
| Figura 4. Ondas de Elliott..... | 10 |
| Figura 5. Libro de órdenes. | 12 |
| Figura 6. Nasdaq Level II para Cisco Systems Inc. | 12 |
| Figura 7. Análisis técnico. | 14 |
| Figura 8. Evolución del inventario a lo largo de una semana, [BJON03]. | 16 |
| Figura 9. Control de inventario, [HASB03]..... | 16 |
| Figura 10. El agente y su entorno, [WOOL02]..... | 18 |
| Figura 11. Representación gráfica de un sistema multiagente..... | 21 |
| Figura 12. Mapa de negociaciones entre dos agentes inteligentes. | 22 |
| Figura 13. Arquitectura de un sistema multiagente, [LUCK04]. | 25 |
| Figura 14. Logotipo ZEUS..... | 26 |
| Figura 15. Logotipo JADE. | 27 |
| Figura 16. Arquitectura de un agente JADE..... | 28 |
| Figura 17. Logotipo JACK..... | 29 |
| Figura 18. Controlador y Planta, [RODR96]. | 31 |
| Figura 19. Controlador Adaptativo Digital. | 32 |
| Figura 20. Agentes identificados..... | 39 |
| Figura 21. Precio y desviación de inventario..... | 40 |
| Figura 22. Ecuación tangencial. | 41 |
| Figura 23. Agente Inteligente VS Control Adaptativo Digital..... | 42 |
| Figura 24. Controlador Adaptativo Digital para 2 pares entrada/salida..... | 43 |
| Figura 25. Valor Fundamental..... | 48 |
| Figura 26. Medias móviles. | 48 |
| Figura 27. Behaviour's en JADE..... | 51 |
| Figura 28. Integración Java – GAMS..... | 57 |
| Figura 29. Comunicaciones entre agentes..... | 61 |
| Figura 30. Proceso de comunicaciones de los Inversores. | 63 |
| Figura 31. Proceso de comunicaciones del creador de mercado..... | 64 |
| Figura 32. Proceso de comunicaciones del exchange. | 64 |
| Figura 33. Gráfico de líneas JFreeChart..... | 72 |
| Figura 34. Gráfico de barras JFreeChart..... | 72 |
| Figura 35. Estadísticas HTML..... | 75 |

| | |
|---|-----|
| Figura 36. Plataforma Software. | 76 |
| Figura 37. Contenedores JADE. | 79 |
| Figura 38. Arranque del Main Container. | 80 |
| Figura 39. GUI Agente Agencia de Noticias. | 81 |
| Figura 40. GUI Agente Exchange. | 82 |
| Figura 41. GUI Agente Inversor. | 82 |
| Figura 42. GUI Agente Creador de Mercado. | 83 |
| Figura 43. EDT del proyecto. | 85 |
| Figura 44. Planificación temporal. | 86 |
| Figura 45. Resultados de simulación con modelo reactivo. | 90 |
| Figura 46. Gráfico de inventario MASSM. | 94 |
| Figura 47. Gráfico de precio MASSM. | 94 |
| Figura 48. Análisis gráfico entre inventario y precio. | 95 |
| Figura 49. Gráfico de control de inventario MASSM. | 95 |
| Figura 50. Grafico control de inventario con inversores fundamentales. | 97 |
| Figura 51. Resistencia y soporte en el precio. | 98 |
| Figura 52. Tendencia alcista en el precio. | 98 |
| Figura 53. Retroceso Fibonacci MASSM. | 99 |
| Figura 54. Grafico uno. | 100 |
| Figura 55. Grafico dos. | 100 |
| Figura 56. Árbol de carpetas. | 113 |
| Figura 57. Parametrización de los agentes. | 114 |
| Figura 58. Ejecución plataforma JADE. | 115 |
| Figura 59. Obtención de resultados HTML. | 117 |

Índice de Diagramas

| | |
|--|----|
| Diagrama 1. Árbol de librerías. | 65 |
| Diagrama 2. Árbol de clases. | 66 |
| Diagrama 3. Diagrama de paquetes..... | 67 |
| Diagrama 4. Diagrama de clases «market»..... | 67 |
| Diagrama 5. Behaviour's de Inversor Simple..... | 68 |
| Diagrama 6. Behaviour's de Inversor Fundamental..... | 68 |
| Diagrama 7. Behaviour's de Inversor Técnico..... | 68 |
| Diagrama 8. Behaviour's del Creador de Mercado. | 69 |
| Diagrama 9. Behaviour's de la Agencia de Noticias..... | 69 |
| Diagrama 10. Behaviour's del Exchange..... | 69 |
| Diagrama 11. Diagrama de clases «market.gui»..... | 70 |
| Diagrama 12. Diagrama de clases «market.ontology»..... | 70 |
| Diagrama 13. Diagrama de clases «market.dominio»..... | 71 |
| Diagrama 14. Diagrama de clases «market.varios»..... | 71 |

Índice de Ecuaciones

| | |
|--|----|
| Ecuación 1. Transformada de Laplace..... | 32 |
| Ecuación 2. Estimador de Parámetros..... | 33 |
| Ecuación 3. Método de mínimos cuadrados..... | 33 |
| Ecuación 4. Controlador..... | 34 |
| Ecuación 5. Recta de Control de Inventario..... | 40 |
| Ecuación 6. Tangente de Control de Inventario..... | 41 |
| Ecuación 7. Estimador de Parámetros de orden 1. | 43 |
| Ecuación 8. Problema de optimización del controlador. | 44 |
| Ecuación 9. Valor de k. | 44 |
| Ecuación 10. Valor Fundamental. | 48 |
| Ecuación 11. Presupuesto del proyecto..... | 87 |
| Ecuación 12. Ecuación de control de inventario MASSM..... | 95 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Periodos de actuación. | 53 |
| Tabla 2. Behaviour's..... | 54 |
| Tabla 3. Distribución de agentes por simulación. | 60 |
| Tabla 4. Orden. | 62 |
| Tabla 5. Casación. | 62 |
| Tabla 6. Trama. | 63 |
| Tabla 7. Estimación de horas. | 86 |
| Tabla 8. Simulación 1 con un precio medio de casación de 10'57 €..... | 91 |
| Tabla 9. Simulación 2 con un precio medio de casación de 20'07 €..... | 92 |
| Tabla 10. Simulación 3 con un precio medio de casación de 6'43 €..... | 92 |
| Tabla 11. Estadísticas de actuación media por participante. | 92 |

1

INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

«Modelado de un Mercado Financiero en un Sistema Multiagente»

El título del presente proyecto identifica en sí mismo los dos elementos primordiales del desarrollo. Su objetivo es extraer la estructura del primero e integrarla en el segundo, conformando juntos un único sistema de operación.

Los Sistemas Multiagente son una tecnología emergente basada en técnicas de Inteligencia Artificial. El Mercado Financiero, motor de potencias económicas, se entiende en este caso como el lugar donde se negocian activos financieros.

Es necesario comprender las fuerzas que interactúan y son causa de la evolución del precio para dar el primer paso hacia el modelado del mercado. En la medida en que se profundice se identificarán y modelarán individualmente los participantes, causa de la existencia del mismo.

Un Agente Inteligente es una entidad autónoma que, situada en un entorno concreto, es capaz de un comportamiento reactivo, proactivo y aptitud social. Un conjunto de agentes no necesariamente homogéneos capaces de interactuar entre sí constituyen un Sistema Multiagente.

El agente ha de ser desarrollado bajo las exigencias del modelo, el cual debe reflejar fielmente lo acaecido en la realidad. Juntos integran en su totalidad un agente inteligente participante de un mercado multiagente. Este mercado multiagente debe ser un modelo fiel de un mercado financiero operando en la sociedad.

La finalidad del proyecto en última instancia es la representación del mercado multiagente en tiempo real y hacerlo así accesible al investigador.

1.1 Motivación

La consecución de unos objetivos que entusiasmen a nivel personal es la gran motivación de este proyecto. Se identifica en la posibilidad de adentrarse en dos

mundos distintos y, al mismo tiempo, seductores como son los Sistemas Multiagente y los Mercados Financieros.

Con sus implicaciones en lo referente a Inteligencia Artificial como puedan ser la dotación de autonomía a elementos inertes, técnicas de aprendizaje automático o integración de elementos heterogéneos en un mismo sistema. También en los ámbitos Financiero y Social con conceptos como microestructura del mercado, análisis técnico, juegos de suma cero o teoría de sistemas.

2

OBJETIVOS

2 OBJETIVOS

Los objetivos establecidos en el presente son los siguientes:

- I. **Comprensión de la microestructura del mercado financiero.** El alumno debe familiarizarse con los conceptos referentes al mercado financiero para poder darle la orientación adecuada al proyecto.
- II. **Identificación y modelado de los participantes más relevantes del mercado.** Con ánimo de simular un mercado financiero, se han de identificar todos los agentes que operan sobre un mismo valor y modelar individualmente sus modos de conducta.
- III. **Desarrollo de un sistema multiagente.** Plataforma sobre la que operarán el conjunto de agentes inteligentes y en la que se simulará el mercado financiero. Debe permitir el desarrollo de la aptitud social de los agentes y cumplir con los requisitos de flexibilidad y escalabilidad propios de un sistema multiagente. Para ello se podrá utilizar un Agent Toolkit, con el consiguiente estudio del arte.
- IV. **Desarrollo de un conjunto de agentes inteligentes y autónomos.** Agentes que, en su condición de inteligentes y autónomos deben ser capaces de un comportamiento reactivo y proactivo orientado a objetivos; y dotados de aptitud social, es decir, capaces de cooperar, coordinar y negociar actividades.
- V. **Implementación de los modelos individuales en agentes individuales.** Adecuar el comportamiento y los objetivos de los agentes a los modelos extraídos del mercado financiero, identificando un agente con cada participante.
- VI. **Simulación del mercado en torno a un único valor financiero en un sistema multiagente.** Integración de todos los agentes desarrollados y modelados en un mismo sistema multiagente. Ejecución y simulación del mismo en torno a un único valor financiero.
- VII. **Representación gráfica temporal de los indicadores más representativos del sistema.** Crear un interfaz de usuario que permita la comprensión de lo sucedido en el sistema en tiempo real. El indicador principal es el precio del valor financiero.

3

DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

3 DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

3.1 Microestructura del Mercado Financiero

La microestructura del mercado financiero es el estudio de las operaciones bursátiles que forman los precios bajo una normativa concreta.

Un mercado financiero es un lugar donde se negocian activos financieros. Surge de la necesidad de financiación de algunas personas y la oportunidad de inversión de otras. Un mercado es eficiente únicamente cuando la gente participa en el mismo.



Figura 1. Esquema del mercado financiero.

Toda empresa sale a Bolsa con el objetivo de obtener capital ajeno para financiar su estrategia, en ningún lugar para crear intencionadamente valor a sus inversores. El cómo estos últimos predicen la posibilidad de beneficiarse de esta financiación será estudiada en el Punto 3.1.2.

3.1.1 Propiedades de los Mercados Financieros

3.1.1.1 Juego de suma cero

La Bolsa es un juego de suma cero. Un juego de suma cero describe una situación en la que la ganancia o pérdida de un participante se equilibra exactamente con las pérdidas o ganancias del resto de participantes. Se denomina así porque si se suma el total de las ganancias de los participantes y se resta el total de sus pérdidas el resultado es cero.

Para ser precisos, de cara al inversor particular, es concretamente un juego de menos que suma cero al tener en cuenta las comisiones. La suma total pasa a ser: ganancias, menos pérdidas, menos el total de comisiones por las transacciones.

3.1.1.2 *Liquidez*

- La liquidez es la oportunidad de operar cuando se desea operar.

Los mercados líquidos tienen un elevado número de participantes con un elevado volumen de transacciones. Se pueden realizar grandes movimientos de acciones sin afectar realmente el precio, cualquier perturbación sobre el mismo queda rápidamente disuelta. El mercado de divisas es un claro ejemplo de mercado muy líquido.

3.1.1.3 *Volatilidad*

Los mercados líquidos se consideran poco ruidosos, es decir, con precios menos volátiles.

La volatilidad de un precio se aprecia en aquellos valores menos estables. Son valores cuyos precios se mueven bruscamente en cortos periodos de tiempo, se podría decir, de manera aleatoria. Estos valores son los menos atractivos para los inversores pues no creen predecible la evolución del precio.

3.1.2 **Predicción en el mercado**

Existen distintas tendencias en el análisis de la predicción de los precios. Una de ellas, bastante extendida y objeto de un premio Nobel, es la Teoría del Movimiento Aleatorio en la que se afirma que el movimiento de los precios es puramente aleatorio; inversores en Bolsa, por el contrario, siguen otras tendencias que sí creen en la predicción de precios, entre las que se pueden identificar el Análisis Fundamental y el Análisis Técnico.

3.1.2.1 *Teoría del Movimiento Aleatorio*

En inglés Random Walk Theory, afirma que los cambios en el precio tienen una distribución uniforme y son independientes unos de otros, por lo que la información

externa o los cambios anteriores del precio no pueden ser utilizados para predecir los movimientos futuros del mismo, son aleatorios.

Introduce el concepto de eficiencia del mercado, el cual considera que en mercados eficientes el precio es puramente aleatorio. Toda información pública o privada relevante para la formación de un precio forma ya parte del precio, ningún análisis fundamental o técnico puede utilizarse para predecir su evolución porque ya ha evolucionado.

3.1.2.2 *Análisis Fundamental*

El análisis fundamental basa sus acciones en el estudio del valor fundamental. Cree que toda acción tiene un valor fundamental y que se puede calcular.

El valor fundamental es el valor que todos los inversores darían a una acción si conocieran toda la información disponible y supieran analizarla formalmente. Es decir, representa el precio que debería tener cada acción en tanto en cuanto es el valor de la misma.

Si el valor fundamental está por encima del precio quiere decir que las acciones están infravaloradas y, en un futuro cercano, subirán hasta alcanzar su valor fundamental, por lo tanto se ha de comprar. Por el contrario, si el precio está por encima del precio del valor fundamental, está sobrevalorado y descenderá.

Por supuesto, no todos los participantes disponen de la misma información y la analizan de igual manera, de ahí que cada inversor tenga su propio valor fundamental. Expertos en el tema, [COPE00], afirman que la precisión de un buen valor fundamental puede incurrir en un error de hasta un 30 %.

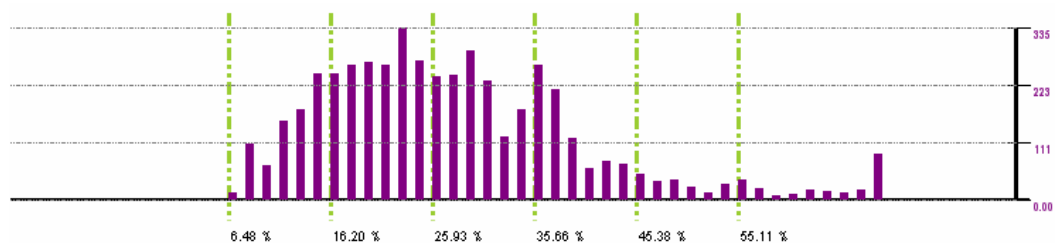


Figura 2. Volatilidad trimestral. MSFT 2004 a 2006.

3.1.2.3 Análisis Técnico

Son los llamados especuladores o técnicos. Se basan en la creencia de que toda información que pueda afectar al precio está contenida en el propio precio. Predicen los cambios del mismo en base a su historia pasada, es decir, en base a los cambios que ya se han producido.

El precio aparenta tener patrones que se repiten a lo largo de su historia. Intentan identificar estos patrones y, con ellos, predecir el comportamiento futuro del precio. Podemos mencionar algunas de sus técnicas y herramientas:

- tendencias ascendentes/descendentes
- soportes/resistencias
- medias móviles
- volumen



Figura 3. Soporte, resistencia y tendencia positiva en análisis técnico.

Un conocido ejemplo son las Ondas de Elliott, patrón de 5 ondas impulsivas y 3 recesivas; o los Retrocesos Fibonacci, que son predichos por los Números Fibonacci.

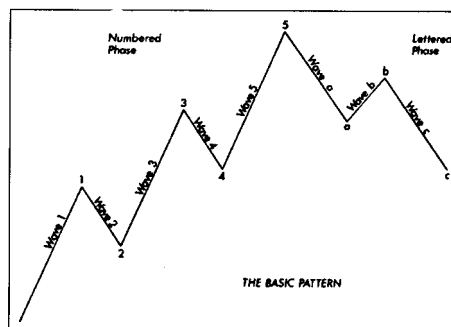


Figura 4. Ondas de Elliott.

3.1.3 Órdenes

Las órdenes son instrucciones de operación. Especifican los deseos de los inversores al operar: si quieren compra o vender: cuánto, cuándo, cómo y bajo qué condiciones.

Básicamente se pueden identificar dos tipos de órdenes: órdenes market y órdenes limited; se diferencian en el hecho de que unas indica el precio al que se desea comprar o vender, y las otras no.

3.1.3.1 Órdenes Market

Este tipo de órdenes especifican únicamente el volumen de órdenes que se quiere casar, y son ejecutadas inmediatamente al mejor precio disponible en el mercado. El inversor no conoce el valor exacto al que se va a realizar la casación, pero sí sabe que la orden será casada inmediatamente –la diferencia en el precio oscila en pocos céntimos–. En el caso de que no hubiera liquidez suficiente para cubrir el volumen de la orden ésta sería cancelada.

Las órdenes market restan liquidez al mercado.

3.1.3.2 Órdenes Limited

Las órdenes limited definen el volumen y el precio al que se desean casar las acciones. Una orden limited permanecerá en el libro de órdenes hasta que llegue otra orden market y sea casada.

Una compraventa puede ser ventajosa únicamente al precio indicado en la orden, pero goza del riesgo inherente de no-casación. Como se ha comentado, cualquier orden market se casará con el mejor precio de mercado, por lo que una orden limited puede no casarse nunca si hay siempre disponibles otras órdenes limited con mejores precios.

Este tipo de órdenes aportan liquidez al mercado, pues proveen a los inversores la oportunidad de casar inmediatamente sus órdenes market con las órdenes limited disponibles. En el caso de que no hubiera órdenes limited disponibles, las market serían canceladas y no habría liquidez.

3.1.3.3 Libro de Órdenes

Las órdenes limited forman el Libro de Órdenes. El envío de numerosas órdenes limited se almacena en unas tablas bid -de compra- y ask -de venta- que muestran los precios y representan la liquidez del mercado.

Estas tablas ordenan las órdenes en base al mejor precio, de tal manera que la llegada de una nueva orden market será casada con la primera orden limited de la tabla.

| BID | ASK |
|-----------|-----------|
| | 10.55 500 |
| | 10.52 500 |
| 300 10.46 | |
| 200 10.45 | |
| 200 10.44 | |

Figura 5. Libro de órdenes.

La diferencia de precios que se da entre el mejor precio de compra y el mejor precio de venta se denomina spread. El spread es necesario pues sino las órdenes limited se casarían mutuamente.

El NASDAQ Level II es un ejemplo de libro de órdenes.

| Name | Bid | Size | Time | Name | Ask | Size | Time |
|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|
| PRUS | 110 5/16 | 1 | 14:56:41 | BTAB | 110 3/8 | 1 | 14:56:41 |
| ISLD | 110 5/16 | 25 | 14:56:04 | PRUS | 110 7/16 | 1 | 14:56:04 |
| MASH | 110 5/16 | 6 | 14:56:12 | PWJC | 110 7/16 | 10 | 14:56:12 |
| ETRD | 110 5/16 | 20 | 14:56:45 | DKNY | 110 1/2 | 1 | 14:56:45 |
| GSCO | 110 1/4 | 10 | 14:56:49 | BRUT | 110 1/2 | 2 | 14:56:49 |
| DLJP | 110 1/4 | 1 | 14:56:52 | ISLD | 110 1/2 | 10 | 14:56:52 |
| MONT | 110 1/4 | 10 | 14:56:52 | INCA | 110 1/2 | 12 | 14:56:52 |
| DKNY | 110 1/4 | 1 | 14:56:03 | MADF | 110 1/2 | 6 | 14:56:03 |
| ARCA | 110 3/16 | 6 | 14:56:20 | DEMP | 110 9/16 | 10 | 14:56:26 |
| BEST | 110 1/8 | 10 | 14:55:27 | SELZ | 110 5/8 | 1 | 14:55:27 |
| NITE | 110 1/8 | 10 | 14:56:47 | SBSH | 110 5/8 | 10 | 14:56:47 |
| WSCO | 110 1/8 | 10 | 00:00:00 | | | | 00:00:00 |

Figura 6. Nasdaq Level II para Cisco Systems Inc.

3.1.4 Participantes del mercado

Como ya ha sido mencionado, los mercados son eficientes cuando la gente participa en ellos. Para crear un mercado es importante entender cómo y por qué la gente opera en los mercados.

Según Larry Harris, en su libro «Trading and Exchanges: Market Microstructure for Practitioners», [HARR02], se identifican los siguientes tipos participantes en función de su motivación y metodología de inversión.

3.1.4.1 *Inversores Utilitarios*

Los inversores utilitarios invierten con el objetivo de obtener otra serie de beneficios más allá de los propios de la inversión. En su gran mayoría desean, por ejemplo, mover dinero en el tiempo.

Pueden ser estudiantes, trabajadores, compañías o incluso Estados que actúan como prestatarios –si necesitan dinero que recuperarán en un futuro–, ó prestamistas –si disponen de dinero que necesitarán en un futuro–.

Este tipo de inversores no busca obtener beneficios de su participación en el mercado, por lo que no prestan especial atención a sus activos financieros y operan muy de vez en cuando. En su gran mayoría pierden dinero.

Aun así, su volumen de operación llega a alcanzar el 25 % del volumen total. Distribuido entre numerosos pequeños inversores, son los denominados “la masa”.

Hacen uso exclusivo de órdenes market.

3.1.4.2 *Inversores Orientados a Beneficio*

ESPECULADORES

Su motivación, a diferencia de los utilitarios, es exclusivamente beneficiarse de sus operaciones en Bolsa. Realizan predicciones con el fin de acometer los movimientos adecuados para generar beneficios. Se dicen exitosos aquellos que aciertan más veces de las que se equivocan.

Generalmente utilizan órdenes market y también llegan a alcanzar un 25 % del volumen total; sólo algunos, con una fuerza importante, utilizan órdenes limited.

Según su metodología se dividen en dos grupos:

Inversores Fundamentales

Aquellos que basan su actuación en el ya descrito análisis fundamental. Compran cuando creen que el precio está por debajo de su valor fundamental y venden cuando creen que esta por encima.

Cada uno estima su valor fundamental y actúa, en consecuencia, de manera diferente. Nadie conoce el verdadero valor de los activos. En cambio, su actividad sí acerca aproximadamente los precios a dicho valor fundamental. Algunos economistas afirman que, excepto ellos, el resto de los inversores introducen ruido en los precios.

Inversores Técnicos

Se guían por el análisis técnico. Predicen cambios en el precio en base a datos técnicos y para ello utilizan técnicas y herramientas como las mencionadas en el Punto 3.1.2.3.

Creer que toda la información que influye en el precio está contenida en el propio precio, por lo que ignoran el valor fundamental.



Figura 7. Análisis técnico.

CREADOR DE MERCADO

También llamado market maker, dealer ó specialist. Suelen ser compañías que han sido autorizadas por la competencia reguladora y contratadas por sus clientes para crear mercado en valores concretos. Son generalmente grandes entidades bancarias que operan a nivel mundial.

Su obligación consiste en proporcionar la liquidez necesaria para que los inversores puedan comprar o vender cuando deseen hacerlo. Para generar esta liquidez el creador de mercado debe enviar pares de órdenes limited de compra y venta continuamente, de tal manera que mantiene el libro de órdenes en movimiento. Esta labor implica la obligación de estar proporcionando los mejores precios bid y ask posibles.

La diferencia en el precio entre sus órdenes de compra y de venta, que definíamos como spread, es su principal fuente de beneficio. Compra acciones a un precio inferior al que las está vendiendo al mismo tiempo. La gran mayoría de las órdenes del resto de participantes son casadas con las suyas, por lo que llega a cubrir un 50 % del volumen del mercado.

El creador de mercado desconoce los valores fundamentales y le preocupan todavía menos. Centra toda su atención en descubrir el valor de mercado.

Tiene la obligación de tener órdenes limited activas siempre que el mercado esté abierto. Debe permanecer en el mismo, proporcionando liquidez, en tiempos buenos y en tiempos malos. Esto conlleva un importante riesgo, el cual es especialmente elevado y palpable en su obligación de comprar acciones a precios muy bajos y venderlas a precios muy altos simplemente por el hecho de que otro participante desee hacerlo.

Es perfectamente posible que un creador de mercado pierda el control sobre el mercado y quede fuera del mismo, arruinado. En base a ello desarrolla una serie de estrategias para reducir su riesgo lo máximo posible. Deja así de tener una actitud pasiva para tomar una posición activa en la configuración de los precios.

Garman (1976) demostró que el inventario del creador de mercado influye enormemente en el precio de los valores. Es peligroso acumular muchas posiciones en un lado del mercado pues podría perder el control sobre el mismo.

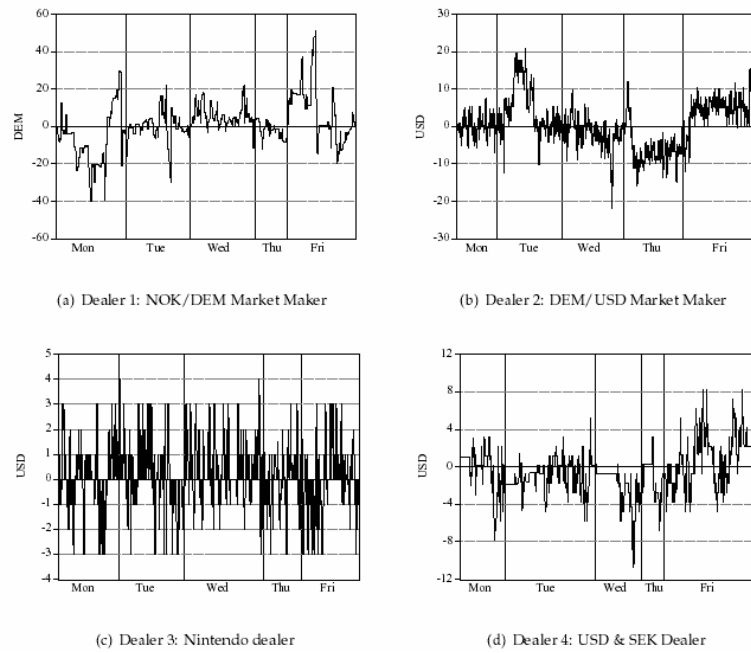


Figura 8. Evolución del inventario a lo largo de una semana, [BJON03].

El creador de mercado mueve los precios a medida que se alejan de su punto de equilibrio ejerciendo un **control de inventario**. Los subirá con la llegada de numerosas órdenes de compra, para inducir la venta; y los bajará, para producir el efecto contrario con la llegada de múltiples órdenes de venta. El spread también se ve influido incrementándose en la medida que se aleja del punto de equilibrio. En base a ello se ha diseñado la Figura 9.

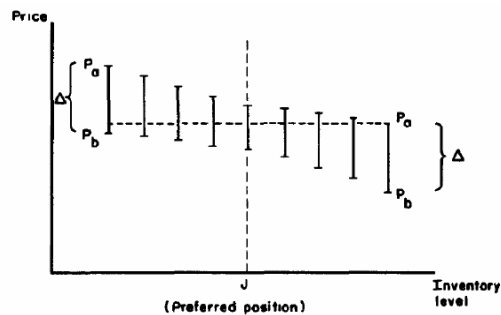


Figura 9. Control de inventario, [HASB03].

Además del control de inventario, existe otro modelo de cierta relevancia denominado modelo de **información asimétrica**. En él se analiza el papel de ciertos inversores informados que tienen la capacidad de generar fuertes beneficios en la Bolsa haciendo perder al creador de mercado.

Más allá de ambos modelos, el creador de mercado aplica alguna otra estrategia como es el movimiento brusco de precios simulando importantes subidas o caídas para incitar a los inversores a mover activo. Estos picos de volumen generan beneficios al creador de mercado por la actividad en el mercado a la vez que generan atractivo en otros inversores.

Existe también evidencia empírica de que el tamaño de su spread es menor en valores con gran volumen de transacciones y mayor en valores con menos movimiento, ya que con mayor volumen le resulta más fácil invertir una operación de compra con una de venta y viceversa. A su vez, nunca envía órdenes voluminosas a un único precio, si no que lo hace escalaramente a distintos precios. Una contraorden voluminosa podría hacerle perder dinero.

3.2 Sistemas Multiagente

3.2.1 Concepto de Agente Inteligente

Un agente inteligente es una entidad dotada de comportamiento autónomo, es decir, capaz de actuar independientemente de cara a alcanzar unos objetivos. Las capacidades que se le presuponen son las siguientes:

- **Reactivo.** Todo agente mantiene una interacción constante con su entorno y es capaz de reaccionar frente a cambios sucedidos en el mismo en el tiempo suficiente para ser útil.
- **Proactivo.** A su vez, un agente es capaz de tomar la iniciativa; no reacciona únicamente frente a cambios en el entorno, si no que identifica oportunidades y actúa en pro de sus objetivos.
- **Aptitud social.** Es la habilidad de un agente de interactuar con otros agentes o con humanos. Para que esta interacción sea satisfactoria dicho agente tiene que ser capaz de cooperar, coordinar y negociar.

Una descripción más formal sería: “Un agente es un sistema informático situado en un entorno concreto y dotado de comportamiento autónomo orientado a alcanzar unos objetivos predefinidos”, [WOOL02].

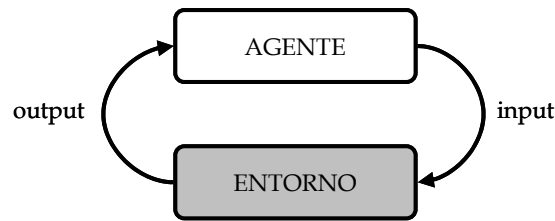


Figura 10. El agente y su entorno, [WOOL02].

En la Figura 10 se puede observar cómo el agente actúa sobre su entorno con ánimo de producir un efecto concreto sobre el mismo. En la gran mayoría de los casos el agente no tendrá un control total sobre su entorno, a lo más podrá influenciarlo. Lo que quiere decir que dos acciones –dos input– idénticas llevadas a cabo en circunstancias idénticas, aunque en instantes distintos, pueden tener efectos –dos output– completamente opuestos.

De lo que se deduce que la arquitectura del agente dependerá en gran parte de su entorno. Un entorno viene determinado por las siguientes cinco características:

- **Accesibilidad.** Un entorno es accesible cuando un agente puede obtener información completa, precisa y actualizada de su estado. Cuanto más accesible sea un entorno, más fácil es desarrollar un agente capaz de operar en el mismo.
- **Determinismo.** Un entorno determinista es aquel en el que cada acción existente produce un efecto determinado, no existe incertidumbre sobre el estado resultante para una acción dada. Entornos no deterministas presentan mayores retos para el desarrollo del agente.
- **Episódico.** Es aquel entorno que se puede dividir en un número discreto de episodios sin existir relación alguna entre episodios contiguos. La actuación de un agente dependerá del episodio en que se encuentre y no tendrá que predecir futuros efectos en episodios venideros.
- **Dinamismo.** Un entorno será dinámico cuando sobre él actúen varios procesos simultáneamente, de tal manera que cambiará más allá del control del agente. Por el contrario, estático será aquel que únicamente se verá afectado por las acciones del agente.
- **Continuidad.** También pueden darse entornos discretos, que son aquellos en los que existe un número fijo y finito de acciones y efectos que pueden sucederse.

Finalmente, antes de pasar a estudiar la arquitectura de un agente, cabe mencionar una serie de propiedades, a veces discutidas, de los mismos:

- Aprendizaje y Adaptación. Un agente puede mejorar sus resultados a lo largo del tiempo.
- Movilidad. Capacidad de un agente de desplazarse entre distintos entornos.
- Veracidad. Un agente nunca comunicará determinada información sabiendo que es falsa.
- Racionalidad. Todo agente actuará siempre de cara a alcanzar sus objetivos.

3.2.2 Arquitecturas para Agentes Inteligentes

La arquitectura de un agente comporta el desarrollo de sus capacidades ya mencionadas: autonomía, reactividad, pro-actividad y aptitud social. A lo largo de la historia se han definido e implementado tres tipos de arquitectura distintas:

3.2.2.1 *Arquitectura basada en intenciones*

Deriva de la llamada inteligencia artificial basada en símbolos; en ella se trata de representar el entorno del agente y sus intenciones por medio símbolos que él mismo es capaz de procesar y razonar, llegando así a la toma de decisiones.

Se han desarrollado distintas metodologías, entre las que están Means-Ends Reasoning ó Beliefs, Desires & Intentions Logic (BDI).

Aunque todavía quedan importantes problemas sin resolver, posiblemente sin solución, que afectan a este tipo de arquitecturas, entre los que están:

- La traducción del entorno a una descripción simbólica precisa y adecuada en el tiempo suficiente para ser útil.
- El procesado y razonamiento de esta información por parte de los agentes en el tiempo suficiente para ser útil.

3.2.2.2 *Arquitectura reactiva*

Basa la actuación del agente en las llamadas creencias. Una creencia es una regla relativamente simple del tipo «si... entonces...». Un agente está compuesto por un

conjunto de creencias que compiten unas con otras por el control del agente. Éstas están organizadas jerárquicamente de tal manera que las capas inferiores tienen preferencia sobre las capas superiores, por lo que las inferiores representarán comportamientos primitivos, del tipo «evitar obstáculos», y las superiores estarán orientadas a alcanzar sus objetivos.

El sistema resultante realiza un razonamiento complejo de manera sencilla y rápida. Pero también comporta importantes deficiencias:

- El agente no modela el entorno, simplemente tiene la información necesaria para actuar de manera aceptable.
- Tiene una visión muy a corto plazo.
- No puede aprender en base a su experiencia.

3.2.2.3 *Arquitectura híbrida*

Es un tipo de arquitectura con ánimo de desarrollar agentes cuyo comportamiento se base tanto en intenciones como en creencias. El agente suele dividirse en módulos: algunos están basados en intenciones y sus tareas son identificar oportunidades, planificar y tomar decisiones de cara a alcanzar sus objetivos; y otros módulos basados en creencias que son capaces de reaccionar rápidamente ante determinados eventos sin necesidad de un razonamiento lógico complejo. Generalmente, se les otorga mayor prioridad a los módulos reactivos frente a los módulos basados en intenciones.

Ésta es la más utilizada últimamente para el desarrollo de agentes que afrontan problemas complejos.

3.2.3 **Interacción y Comunicación**

Un sistema multiagente contiene un conjunto de agentes que: son capaces de interactuar entre sí por medio de una comunicación definida; actúan en un entorno concreto sobre el que tienen distintas áreas de influencia; y algunos de ellos pueden estar relacionados organizativamente con otros.

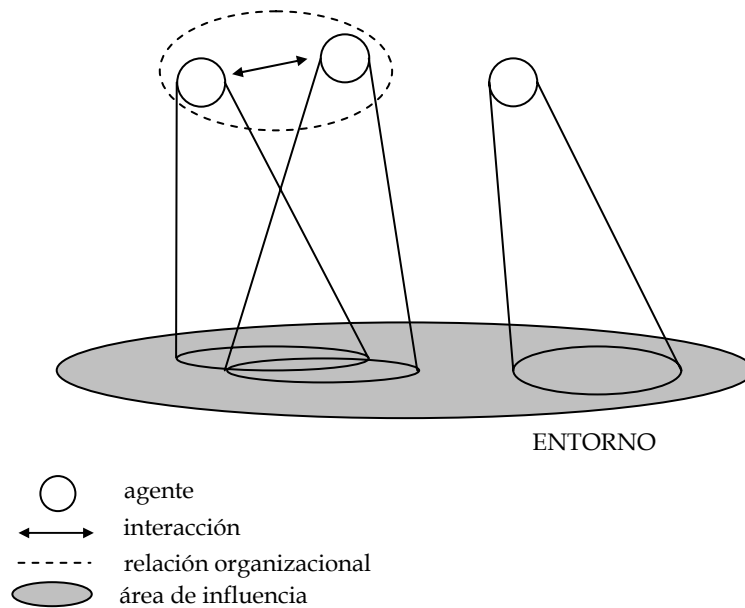


Figura 11. Representación gráfica de un sistema multiagente.

Todo agente desarrolla su actividad en base a su interés personal. A la hora de planificar su estrategia ha de tener en cuenta la existencia de otros agentes pudiendo cooperar, coordinar y/o negociar actividades con ellos.

En el estudio de estas interacciones entran en juego conceptos comúnmente aplicados a otros ámbitos sociales como son el equilibrio Nash ó los juegos de suma cero.

Una manera sencilla y extendida de llevar a cabo transacciones ó negociaciones en el entorno de los sistemas multiagente son las subastas. Un agente poseedor de un bien lo publicará en subasta sobre la que el resto de los agentes pujaran en la medida de su interés. Dichas subastas tienen una serie de parámetros configurables que influirán decisivamente en el desarrollo de las estrategias de los agentes pujantes:

- Valor del bien. Puede ser público, conocido por todo el mundo o privado.
- El pago del ganador. Típicamente será el primer precio, precio más alto pujado o segundo precio, segundo precio más alto pujado.
- Las pujas. Pueden ser cantadas, véase dichas en abierto de cara al resto de los participantes, o selladas, en privado al agente subastador.
- El proceso de puja. Puede ser ascendente, empezando por un precio moderado que sube con cada puja; descendente, empezando por un precio muy alto que

desciende periódicamente, por lo que se otorgará el bien al primer pujador; o de una sola puja, donde el vencedor será aquel que haya pujado más alto.

Se puede identificar el uso del concepto de subasta en actividades del día a día, como por ejemplo en el mercado de valores, cuyas pujas son del tipo continuous double auction.

En cualquier caso la subasta es una técnica que únicamente se puede aplicar a la distribución de bienes. La negociación es un proceso más complejo para llegar a acuerdos en asuntos de interés común. El escenario de una negociación normalmente se lleva a cabo a través de una serie de rondas donde cada agente puede hacer una proposición por ronda; éste escenario se compone de los siguientes cuatro componentes:

- Un conjunto de negociación, es decir, conjunto de propuestas que un agente puede utilizar.
- Un protocolo.
- Una estrategia privada por cada agente.
- Una regla que determine cuando se ha llegado a un acuerdo o no.

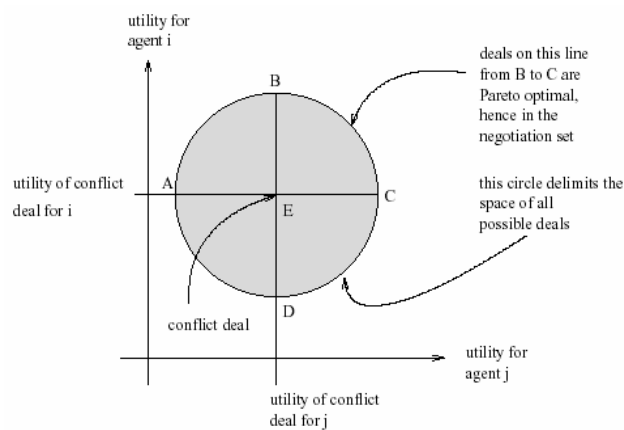


Figura 12. Mapa de negociaciones entre dos agentes inteligentes.

Para que se lleve a cabo esta interacción es necesario que exista una comunicación, es decir, un lenguaje, vocabulario y protocolo predefinidos que todo el sistema conozca y sea capaz de utilizar.

Existen diversos modelos ya desarrollados para hacer realidad esta comunicación. Cabe mencionar el estándar desarrollado por la Foundation for Intelligent Physical Agents¹ denominado FIPA ACL, donde las iniciales ACL responden a «Agent Communication Language».

Independientemente del protocolo de comunicación, cada agente tendrá además sus propios conceptos de dominio, referidos a objetos o actividades de su entorno. De la necesidad de comunicar también estos conceptos surge la nueva definición de **ontología**: «Una ontología ha de entenderse como un entendimiento común y compartido de un dominio, que puede comunicarse entre científicos y sistemas computacionales.», [PERE02]. Por lo que, a su vez, cada sistema multiagente tendrá inherente su propia ontología.

3.2.4 Aplicaciones Prácticas

Existen numerosas y muy diversas aplicaciones prácticas de los sistemas multiagente. A continuación se describen algunas de ellas:

3.2.4.1 Agentes para el Comercio Electrónico

Los agentes han sido fuertemente promocionados como entidades capaces de automatizar las distintas etapas que componen un proceso de compraventa por Internet y ayudar a alcanzar el mejor acuerdo posible.

Un claro ejemplo de ello es el portal eBay, que dispone de un sofisticado sistema de subastas on-line para llevar a cabo compraventas por Internet. Éste ha inducido a la creación de portales web de terceros, que disponen de agentes inteligentes diseñados intencionadamente para actuar en eBay y adquirir los productos solicitados por sus clientes a los mejores precios posibles.

¹ La FIPA es una asociación sin ánimo de lucro fundada en 1996 con el objetivo de promocionar la interoperabilidad entre agentes de software y sistemas multiagente heterogéneos. Es el mayor desarrollador de estándares en el área de agentes informáticos.

3.2.4.2 *Agentes para Simulaciones Sociales*

Una de las visiones detrás del origen de los sistemas multiagente es el uso de agentes como herramienta experimental en ciencias sociales. Agentes individuales pueden representar a personas individuales, organizaciones o entidades.

Uno de los mayores proyectos en el área de la simulación social es «The EOS project», desarrollado en la University of Essex, Reino Unido.

3.2.4.3 *Agentes para la Gestión de Sistemas Industriales*

La aplicación de sistemas multiagente en conjunción con otras tecnologías en la industria es muy extensa. Uno de sus dominios de aplicación es, por ejemplo, en la distribución de energía; actualmente está instalado y operando un sistema de distribución de energía en el norte de España.

3.3 Agent Toolkits

Los sistemas multiagente requieren de una importante infraestructura que provea de numerosas funcionalidades a distintos niveles: desde el transporte de mensajes o la gestión de hilos a mecanismos que faciliten el descubrimiento dinámico de nuevos servicios. Sería irrealista esperar el desarrollo de dicha infraestructura con cada nueva aplicación multiagente.

Los Agent Toolkits o herramientas para el desarrollo de agentes son componentes software que proveen esta infraestructura para el desarrollo e implementación de sistemas multiagente. Permiten al investigador enfocar todos sus esfuerzos en resolver los retos propios del entorno y el sistema.

A día de hoy existen más de 100 toolkits disponibles en la red, algunos de ellos procedentes del entorno académico y otros del mundo empresarial, los hay de pago y de libre distribución. De su estudio emergen una serie de patrones que empiezan a aceptarse como genéricos:

- El desarrollo de los agentes individuales está aislado de su interfaz con el entorno.
- Se distingue entre servicios de bajo nivel y de alto nivel.
- Se distingue entre software para el desarrollo de agentes y software para la gestión de sistemas multiagente.

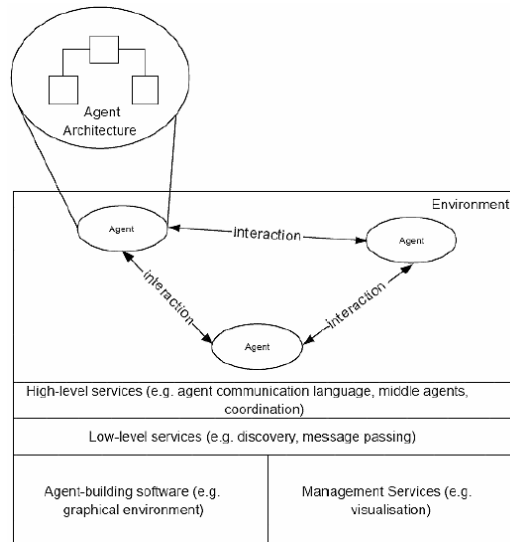


Figura 13. Arquitectura de un sistema multiagente, [LUCK04].

A continuación se realiza un estudio del arte de aquellos considerados más representativos.

3.3.1 ZEUS

ZEUS ha sido desarrollado desde 1997 por BTextact. Son cinco las cuestiones que se han identificado como primordiales para ser soportadas por su infraestructura:

- **Descubrimiento de Información.** Permite a un agente descubrir otros agentes.
- **Comunicación.** Soportando el intercambio de mensajes.
- **Ontología.** Describe el lenguaje común del dominio de la aplicación.
- **Coordinación.** Facilita un mecanismo para la coordinación de acciones entre agentes.
- **Integración de Software.**

Dispone de una arquitectura genérica que provee todas las herramientas básicas que suponen los cimientos del agente en una variedad de dominios. Permite el desarrollo de agentes basados en intenciones, orientados hacia objetivos, versátiles, fiables y continuos en el tiempo.



Figura 14. Logotipo ZEUS.

También dispone de una interfaz gráfica para el desarrollo de agentes. Dos de sus módulos son: Ontology Editor y ZEUS Agent Editor.

3.3.1.1 *Servicios de Bajo Nivel*

Todas las comunicaciones en ZEUS están basadas en el intercambio de mensajes ASCII con el protocolo TCP/IP.

3.3.1.2 *Servicios de Alto Nivel*

Para llevar a cabo una serie de tareas útiles para las aplicaciones, ZEUS crea unos agentes auxiliares:

- Agent Name Server. Similar a unas páginas blancas, facilita la localización de unos agentes por parte de otros.
- Facilitator. En este caso, unas páginas amarillas facilitan a los agentes la publicación de servicios para que puedan ser localizados por otros agentes.

La comunicación entre agentes sigue el ya mencionado estándar FIPA ACL de la Foundation for Intelligent Physical Agents.

3.3.1.3 *Servicios de Gestión*

Además de los dos niveles ya mencionados con servicios propios del sistema multiagente, ZEUS proporciona una serie de servicios útiles para la gestión del sistema. Destacan las siguientes herramientas:

- Society Tool. Muestra información sobre el intercambio de mensajes.
- Report Tool. Realiza un seguimiento del progreso de ejecución de las tareas principales.
- Control Tool. Permite alterar los estados de determinados procesos.
- Statistic Tool. Facilita la obtención de estadísticas.

Como ya se ha comentado, ZEUS es propiedad privada de una compañía y por tanto es un producto de pago.

3.3.2 JADE

El Java Agent DEvelopment Framework es un proyecto de libre distribución que ha estado en desarrollo desde 1999 en los laboratorios de Telecom Italia, TILab. Este toolkit está compuesto por una plataforma adaptada a los estándares FIPA y un paquete para el desarrollo de agentes en Java.



Figura 15. Logotipo JADE.

Los agentes desarrollados con el mencionado paquete pueden funcionar en cualquier plataforma que siga los estándares de FIPA. No define ninguna arquitectura de agente específica, pero provee todas las funcionalidades necesarias para que dicha arquitectura sea autónoma, entendiendo por autónoma aquella que deriva en agentes como objetos activos que gestionan sus propios hilos de ejecución. Estos agentes son capaces de gestionar múltiples conversaciones punto a punto a través de un protocolo de mensajería asíncrona.

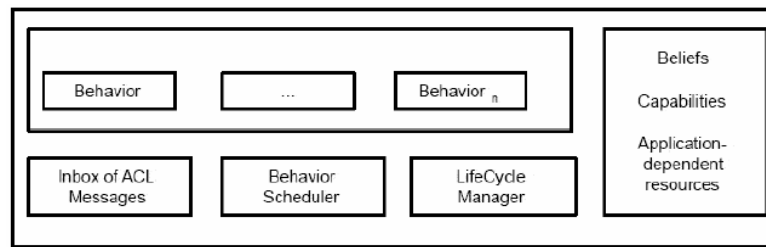


Figura 16. Arquitectura de un agente JADE.

3.3.2.1 Servicios de Bajo Nivel

La plataforma JADE está dividida en contenedores. Puede haber diversos contenedores repartidos entre varios ordenadores, cada uno de los cuales es capaz de alojar a un número variable de agentes y gestionar sus comunicaciones y accesos a los servicios provistos por la plataforma.

Estas comunicaciones están basadas en FIPA ACL. Los mensajes ACL son transportados por el Message Transport Protocol, MTP, otro estándar desarrollado por la Foundation for Intelligent Physical Agents.

3.3.2.2 Servicios de Alto Nivel

También siguiendo las especificaciones FIPA esta plataforma provee de:

- Agent Management System. Gestiona la plataforma y controla los accesos a la misma, a la vez que provee de un servicio de páginas blancas.
- Directory Facilitator. Constituye el servicio de páginas amarillas para la publicación y localización de servicios. Varios Directory Facilitator pueden coexistir en una sola plataforma.

Ambos servicios son desarrollados como agentes que utilizan la implementación del lenguaje SL-0 y el Agent Management Ontology.

3.3.3 JACK

La primera versión de JACK fue publicada en 1998. Es un entorno para el desarrollo de agentes producido en el Agent Oriented Software Group; su desarrollo está basado en dos principios:

- El desarrollo de agentes puede ser visto como una extensión del desarrollo de objetos. Como consecuencia, JACK trabaja sobre la plataforma Java actuando como una ampliación que provee conceptos relacionados con agentes.
- Los agentes son inteligentes en tanto en cuanto están basados en arquitecturas BDI, Believes, Desires & Intentions.



Figura 17. Logotipo JACK.

Su entorno de desarrollo está dividido en tres componentes:

- **JACK Agent Language.** Es una colección de Java que introduce nuevos elementos sintácticos y semánticos –nuevas clases, interfaces y métodos– para trabajar con conceptos de agentes.
- **JACK Compiler.** Compila el agente a lenguaje Java puro, de tal manera que puede funcionar en cualquier entorno Java.
- **JACK Agent Kernel.** Es la plataforma sobre la que los agentes operan. Provee todas las funcionalidades definidas en el JACK Agent Language.

Aunque en un principio JACK pueda soportar una amplia variedad de arquitecturas, su arquitectura por defecto es BDI:

- El agente programa sus acciones utilizando el TaskManager.
- Las creencias representan el conocimiento que el agente tiene acerca de su entorno.
- Los planes son secuencias de acciones que los agentes ejecutan en referencia a un evento.

- Los eventos están divididos en: eventos externos, como puedan ser mensajes de otros agentes; eventos internos, del propio agente; y motivaciones, que representan objetivos que quiere alcanzar.
- Las capacidades son conceptos que permiten estructurar conjuntos de elementos en grupos.

Las comunicaciones entre agentes son gestionadas por JACK Kernel, éstas se hacen efectivas con IP sobre UDP, con una capa superior que garantice la llegada de mensajes punto a punto. También soporta FIPA ACL.

JACK provee un entorno gráfico, similar a diagramas UML, tanto para el desarrollo de la aplicación multiagente como la planificación de decisiones del propio agente. Todo el sistema y de manera individual, los agentes, puede ser supervisado con el Agent Tracing Controller.

3.3.4 Síntesis

De las tres herramientas analizadas dos de ellas, ZEUS y JACK, ofrecen variaciones de una arquitectura BDI, mientras que JADE es relativamente neutra. No ha sido determinado cuál es más adecuada, por lo que la elección de una arquitectura u otra dependerá de preferencias personales, facilidad de uso ó requerimientos de la aplicación.

Las comunicaciones están todas basadas en FIPA ACL. ZEUS y JACK utilizan TCP y UDP sobre IP, mientras que JADE utiliza RMI, Remote Method Invocation, que puede ser más costoso de procesar.

En cualquier caso, una plataforma dedicada como la de JADE facilita la gestión y monitorización de sus funcionalidades. A su vez, es el único entorno de libre distribución y su desarrollo se lleva a cabo utilizando enteramente Java, lenguaje muy extendido en la comunidad IT.

Finalmente, cabe mencionar que ninguno de estos toolkits es un sistema puramente abierto, ya que difícilmente un agente de uno se comunicaría con un agente de otro.

3.4 Control Adaptativo Digital

3.4.1 Control, Control Adaptativo y Control Adaptativo Digital

Para garantizar la eficacia y eficiencia de ciertos procesos industriales ha sido necesario recurrir a técnicas de control que difieren en gran medida de las ya utilizadas técnicas de control clásico. El control adaptativo es una nueva forma de hacer control.

El término adaptativo significa cambiar el comportamiento conforme a nuevas circunstancias. Un regulador adaptativo es un regulador que puede modificar su comportamiento en respuesta a cambios en la dinámica del sistema.

Un controlador convencional está pensado para controlar sistemas cuyos parámetros permanecen constantes. Esta es una buena aproximación cuando se pretende regular un sistema en un punto fijo de actuación; sin embargo, la aproximación en torno a un punto de funcionamiento no suele seguir siendo buena si el punto de funcionamiento cambia en el tiempo.

La Figura 18 muestra el diagrama simplificado de un sistema de control adaptativo. Planta y Controlador forman un bucle cerrado en el que cada componente ejerce su influencia sobre el otro.



Figura 18. Controlador y Planta, [RODR96].

El principal beneficio de la realimentación no puede producirse sin la consideración de la incertidumbre en el comportamiento de la planta. Hay dos razones por las que la salida «y», para una entrada «u», produce una trayectoria que no está determinada previamente:

- La dinámica de la planta no se puede conocer completamente, por lo que el modelo de planta solo puede considerarse como una aproximación, más que como una descripción exacta.

- Perturbaciones desconocidas pueden influir en el comportamiento del sistema.

El control digital surge ante las ventajas que aporta la tecnología digital. Para ello, los sistemas análogos deben muestrear y cuantificar la señal continua antes de poderla procesar en una máquina digital.

Para analizar o diseñar sistemas de control es preciso disponer de algún modelo matemático, tanto para el sistema controlado, es decir, la planta, como para el propio controlador. Todo modelo presente en la realidad comporta un sistema no lineal. Un controlador adaptativo digital puede utilizar la función de transferencia para transformar los sistemas no lineales en sistemas lineales basándose en la transformada de Laplace.

$$F(s) = L\{f(t)\} = \int_{0-}^{\infty} e^{-st} f(t) dt$$

Ecuación 1. Transformada de Laplace.

3.4.2 Diseño de un Controlador Adaptativo Digital

Un diagrama de un sistema de control adaptativo tiene la forma siguiente:

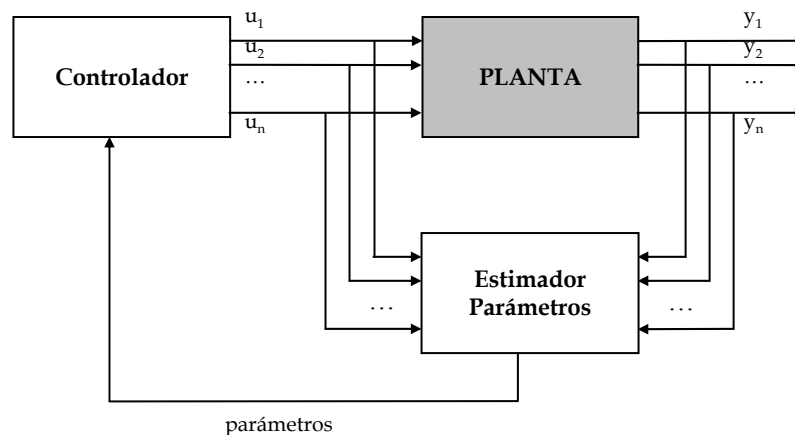


Figura 19. Controlador Adaptativo Digital.

Existen dos partes diferenciadas que componen el sistema de control: el Estimador de Parámetros y el Controlador. La Planta es aquello sobre lo que queremos ejercer un

control y que es imposible conocer por completo, tiene perturbaciones y cambia a lo largo del tiempo.

El **estimador de parámetros** utiliza un modelo del sistema en tiempo discreto, cuyas ecuaciones en base a la transformada de Laplace serán de la forma:

$$y_i(k) = A_1 \cdot y_i(k-1) + A_2 \cdot y_i(k-2) + \dots + A_n \cdot y_i(k-n) + B_0 \cdot u_i(k) + B_1 \cdot u_i(k-1) + \dots + B_n \cdot u_i(k-n)$$

$y_i(k)$ representa las salidas en el ciclo k .

$u_i(k)$ representa las entradas en el ciclo k .

A_j y B_j son los parámetros del modelo.

Ecuación 2. Estimador de Parámetros.

El estimador de parámetros trata de obtener los valores de los parámetros A_j y B_j para que el modelo de la Ecuación 2 represente el comportamiento de la planta lo más cerca de la realidad posible. En dicho modelo existe una ecuación, del tipo Ecuación 2, por cada salida de la planta; éstas pueden tener en cuenta tanta información histórica como se desee o crea conveniente que viene delimitada por la ventana $[k, k-n]$.

Para calcular los valores de los parámetros A_j y B_j se puede utilizar el método de mínimos cuadrados basado en información de valores pasados de las variables $y_i(k)$ y $u_i(k)$, obteniendo así los parámetros necesarios para el controlador. Para ello se pueden utilizar herramientas como MatLab ó GAMS.

$$\min \sum_{i=1}^n (error(i)^2)$$

$$error(i) = y_{real}(i) - y_{modelo}(i)$$

Ecuación 3. Método de mínimos cuadrados.

El **controlador** calcula la entrada a la planta. Si se utiliza un control adaptativo con el objetivo de maximizar algún valor esperado, se puede predecir el comportamiento de la salida para una determinada entrada a partir del modelo del sistema obtenido. Será entonces un control predictivo adaptativo.

$$y_i(k) = A_1 \cdot y_i(k-1) + A_2 \cdot y_i(k-2) + \dots + A_n \cdot y_i(k-n) + B_0 \cdot u_i(k) + B_1 \cdot u_i(k-1) + \dots + B_n \cdot u_i(k-n)$$

$y_i(k)$ representa las salidas predecidas en base a las entradas $u(k)$ dadas.

$u_i(k)$ representa las entradas calculadas.

A_j y B_j son los parámetros estimados por el estimador de parámetros.

Ecuación 4. Controlador.

El objetivo es encontrar la siguiente entrada, $u_i(k+1)$, óptima en función del criterio fijado. En este caso también pueden utilizarse herramientas tipo MatLab o GAMS, en un problema de optimización.

4

DESCRIPCIÓN DEL MODELO DESARROLLADO

4 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DESARROLLADO

4.1 Introducción

El objetivo del presente proyecto es modelar el mercado financiero mediante un sistema multiagente. Modelar su comportamiento e implementarlo en un sistema multiagente, teniendo en cuenta conductas y actuaciones. De una manera coloquial se podría decir que se busca crear una Bolsa en sí y no un sistema para participar en el IBEX35 o que simule en base a datos históricos.

Esta Bolsa, denominada de ahora en adelante MASSM², consta de un solo valor y una serie de participantes que componen el entorno de la misma. Estos últimos intentarán ejercer un control sobre el precio del mismo y maximizar individualmente su beneficio en base a sus conductas predefinidas.

4.1.1 Mercado Financiero vs. Sistema Multiagente

La capacidad primordial de un sistema multiagente es su aptitud social y es ésta la razón que conduce a la elección del sistema multiagente como herramienta de modelado del mercado financiero. Todo mercado es producto de la interacción entre compradores y vendedores capaces de negociar, cooperar y coordinar operaciones con ánimo de beneficiarse de ello. Un sistema multiagente provee de la infraestructura necesaria para hacer realidad esta integración de participantes mayoritariamente dispares.

Una de las visiones detrás del origen de los sistemas multiagente es su uso como herramienta experimental en ciencias sociales. Cada agente es identificado con un

² MultiAgent System Stock Market

participante en el mercado y se le dota de la autonomía necesaria para que su comportamiento pueda representar de manera fidedigna la realidad.

Las subastas son una forma de negociación entre agentes y las pujas representan sus deseos. Las órdenes de mercado se estructuran de tal manera que pueden ser descritas como pujas en subastas del tipo continuous double auction. A su vez, existen una serie de propiedades mencionadas del mercado financiero que son fácilmente configurables en un sistema multiagente como es el juego de suma cero.

Un sistema multiagente es por excelencia un sistema distribuido: distintos agentes operando en distintas plataformas hardware conectadas en red. Llevado a sus últimas consecuencias, se podría crear un mercado financiero sobre una plataforma multiagente en la que cada entidad participara a través de un agente y conviviera con otros tantos inteligentes y autónomos que cumplieran con funciones determinadas como son competencia reguladora, controlador técnico u oferente de servicios.

La sinergia entre el mercado financiero y los sistemas multiagente es muy alta.

4.2 Modelo

4.2.1 Identificación de los participantes

El precio de una acción se rige por la ley de la oferta y la demanda. Ante más compradores que vendedores el precio tenderá a subir y, ante una situación opuesta, tenderá a bajar.

Para ello, si se desea crear una Bolsa propia, el elemento fundamental son sus participantes. La labor principal de este proyecto es identificar a los participantes de un mercado real, modelar sus comportamientos individuales e implementarlos en un sistema, MASSM.

La liquidez de un mercado es la base de la eficiencia del mismo. Por ello, entra en juego el ya descrito Creador de Mercado, figura que se compromete a aportar liquidez

permanentemente sobre una determinada acción. Existen mercados como el NYSE³ que disponen de un único creador de mercado regulado, contra el que se realizan la gran mayoría de las casaciones; por el contrario, también se encuentran otros como el NASDAQ en el que no existe regulación alguna, sino libre competencia entre un número de creadores de mercado que luchan por el control del precio y la maximización de su beneficio; ha sido probado en este último caso la existencia de una única entidad especialmente fuerte frente a otras pocas menores en tamaño.

MASSM requiere, por tanto, de su **creador de mercado** o market maker. Este participante presenta la mayor complejidad de todos, pues debe aportar la liquidez exigida por el mercado y generar beneficios al mismo tiempo.

Un segundo elemento primordial es la masa o, dicho de otra manera, la multitud de pequeños inversores que compran y venden acciones sin buscar un beneficio explícito en sus movimientos. Prácticamente todos ellos siguen un comportamiento aleatorio, a veces influenciado por los medios de comunicación; se les denominará **inversores utilitarios**.

El grupo restante lo vamos a dividir en dos, dependiendo de su estrategia de compraventa de acciones. Aquellos que realizan análisis fundamental se les identifica como **inversores fundamentales** y aquellos guiados por el análisis técnico, serán los **inversores técnicos**.

Como resultado tenemos cuatro tipos de participantes, que se corresponde con cuatro agentes inteligentes, que son: creador de mercado, inversor utilitario, inversor fundamental e inversor técnico. Según la literatura financiera, operando todos ellos en un mismo valor, el creador de mercado supone aproximadamente el 50% de los movimientos de activo, el inversor utilitario un 25% y el inversor fundamental y técnico juntos suman el otro 25%.

Para el funcionamiento del mercado se necesitan elementos que garanticen su operabilidad y transparencia. Todos estos participantes necesitan enviar sus órdenes a algún sitio para que tengan lugar las casaciones, al cual se denomina **exchange**. A su vez, necesitan saber qué es lo que realmente está sucediendo cuando sus órdenes no

³ New York Stock Exchange

son casadas, de ahí la necesidad de una **agencia de noticias** que disponga de toda la información relevante sobre lo sucedido en el exchange.

Estos dos elementos, a pesar de tener un comportamiento mecánico, se identificarán con sendos agentes para integrar, en la totalidad de MASSM, un sistema multiagente.

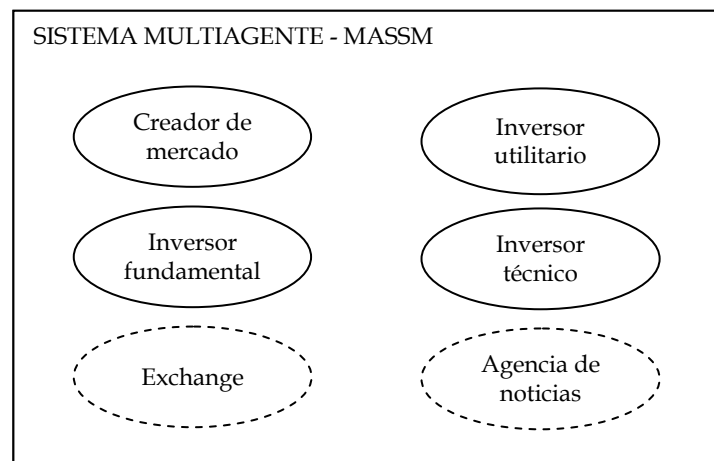


Figura 20. Agentes identificados.

4.2.2 Modelos Individuales

A continuación se definen aquellos comportamientos que se han identificado en cada agente y que se implementarán en el modelo.

4.2.2.1 Creador de Mercado

Han sido identificados dos comportamientos que definen el por qué de la manera de actuar de un creador de mercado:

- Control de inventario
- Optimización del beneficio

El **control de inventario** es una herramienta determinante de su comportamiento como ya ha sido descrito en el Punto 3.1.4.2. Según el estudio de Martin D. Evans en [EVAN99] más del 50% del movimiento del precio está correlacionado con el flujo de órdenes, encontrando en ese caso una equivalencia de un movimiento de 1 billón de euros a un cambio, en ese mismo sentido, de medio céntimo en el precio.



Figura 21. Precio y desviación de inventario.

Este flujo lo representa Ananth Madhavan en su artículo [MADH02] de la forma descrita en la Figura 21. Dicha recta puede ser representada por una ecuación del tipo:

$$Y = a \cdot X + b$$

Ecuación 5. Recta de Control de Inventario.

La **optimización del beneficio** engloba el conjunto de acciones que fuerza ante situaciones de peligro o para inducir al movimiento de títulos por parte de los inversores.

En función de sus expectativas tiene que enviar pares de órdenes de compra y venta a un precio determinado para crear liquidez. Para ello necesita ponerse en contacto con el exchange, agente que le comunicará el efecto de sus órdenes por medio de casaciones. Sus pares de órdenes limited de compra y venta serán de un volumen elevado hasta el punto de garantizar una liquidez permanente.

Orientado a omitir posibles restricciones que pudieran condicionar los comportamientos ya descritos del creador de mercado, no se le limita ni en saldo ni en acciones, pudiendo adquirir o vender todas las acciones que desee al disponer de unos números exageradamente elevados. El resto de participantes empezarán con un saldo y número de acciones concretos y reducidos.

El agente creador de mercado, reflejando la realidad, actuará sobre el entorno cada intervalo de 1 segundo. Este tiempo tiene sentido en función de los periodos del resto de los participantes. Se verá a su debido tiempo.

Han sido desarrollados dos modelos a lo largo del proyecto.

MODELO REACTIVO

Inicialmente se ha modelado únicamente el control de inventario. Es un mecanismo de reacción frente al mercado, es decir, frente a la actuación del resto de agentes, por lo que describe a un agente **reactivo**.

El precio es modelado en base al inventario según la Ecuación 6. Bajo un spread constante, se utiliza una ecuación tangencial con $A < 0$ que incrementa los saltos en el precio cuanto más se aleja del inventario de equilibrio.

$$Precio = P_0 + A \cdot tg(Inventario \cdot \theta)$$

Ecuación 6. Tangente de Control de Inventario.

La Figura 22 representa la Ecuación 6, en ella se puede observar una equivalencia con los modelos de Annath Madhavan, Figura 21, y [HASB03], Figura 9.

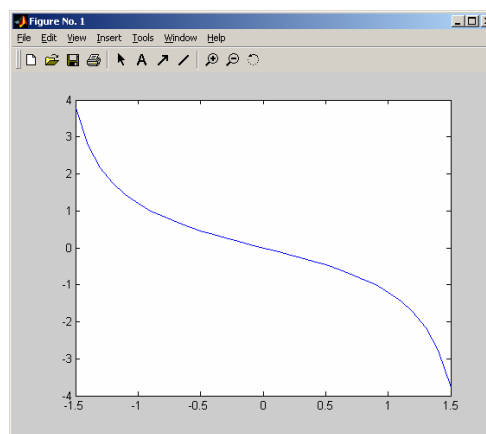


Figura 22. Ecuación tangencial.

Los parametrización de los valores P_0 , A y θ determina los precios que el creador de mercado va a fijar entorno a un punto de operación. Este punto de operación define la oscilación máxima del precio en función de la desviación máxima del punto de equilibrio en el inventario. Esta desviación viene delimitada por la fuerza de inversión que tienen el resto de participantes.

Este condicionamiento que sobrelleva el modelo reactivo queda suplido por el siguiente modelo.

MODELO REACTIVO Y PROACTIVO

Con ánimo de mejorar el modelo anterior se modela, además del control de inventario, la optimización del beneficio. El agente resultante es **reactivo** –control de inventario– y **proactivo** –optimización del beneficio–.

El planteamiento matemático cambia radicalmente, se omiten las ecuaciones planteadas hasta el momento y se entra de lleno en una herramienta que se adecue a las necesidades del modelo, **Control Adaptativo Digital**.

Recapitulando, el Control Adaptativo Digital es un sistema de control que adapta su comportamiento conforme a las nuevas circunstancias. Parte de la premisa de que existen razones por las que un *output* del sistema, para un *input* determinado, produce una trayectoria que no está determinada.

Tiene ciertas ventajas frente a otros conceptos similares como son las Redes Neuronales y una serie de características que hacen que cumpla con los requisitos necesarios:

- Es capaz de representar la realidad no lineal en sencillas ecuaciones lineales con la Función de Transferencia.
- Su adaptación es inmediata –no necesita de entrenamiento–.
- Tiene capacidad de memorizar el pasado y planificar hacia el futuro –control adaptativo predictivo–.

En la Figura 23 se puede observar una correlación en la representación de Michael Wooldridge en “An Introduction to Multiagent Systems”, [WOOL02], y de Francisco Rodríguez Rubio en “Control Adaptativo y Robusto”, [RODR96].

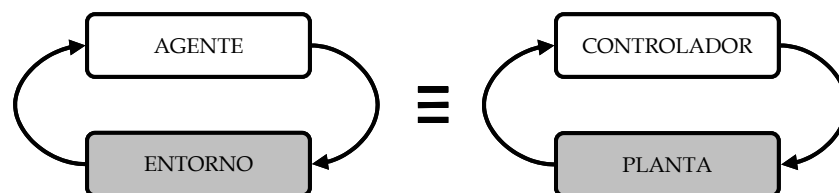


Figura 23. Agente Inteligente VS Control Adaptativo Digital

Juntos integran una herramienta adecuada para el control que exigen el mercado y el inventario al creador de mercado.

Existen dos elementos sobre los que se desea ejercer control –control de inventario y maximización del beneficio–, por lo que la planta constará de dos pares de entrada/salida. Uno referido al par «incremento de precio»/«inventario», ΔP - I , y el segundo al «incremento de precio»/«beneficio», ΔP - B° .

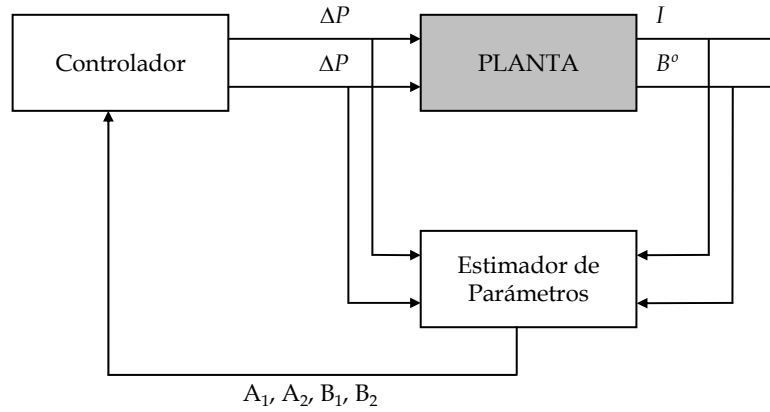


Figura 24. Controlador Adaptativo Digital para 2 pares entrada/salida.

El incremento de precio, como entrada a planta, representa la única forma que tiene el agente creador de mercado de expresar sus deseos e intenciones. La ventaja de utilizar el incremento de precio en vez de meramente el precio es que el elegido puede ser positivo, negativo o nulo y permite regular más fácilmente los saltos de precio.

El **estimador de parámetros** modela la realidad lineal como no lineal gracias a la función de Transferencia. Ha sido desarrollada con una transformada de Laplace de orden 1, Ecuación 7. Su equivalencia matemática con el modelo de Annath Madhavan, Ecuación 5, induce a pensar que, a pesar de ser una ecuación de orden 1 para controlar un sistema no lineal, puede ser suficiente para ejercer eficazmente el control deseado.

$$\begin{aligned} I(j) &= A_1 \cdot I(j-1) + A_2 \cdot \Delta P(j) \\ B^\circ(j) &= B_1 \cdot B^\circ(j-1) + B_2 \cdot \Delta P(j) \end{aligned}$$

Ecuación 7. Estimador de Parámetros de orden 1.

Estas ecuaciones y para un conjunto de datos de ciclo j se tienen que resolver por el método de mínimos cuadrados. El tamaño del ciclo j , memoria del estimador de parámetros y predicción futura del controlador, depende de los intervalos de actuación del resto de agentes –hasta ahora descrito únicamente el creador de mercado, 1 segundo–. Debe ser lo suficientemente amplio para dar oportunidad a actuar sobre el

entorno al menos una vez a cada agente participante. Será de 10 segundos, es decir, los pasados 10 intervalos.

El **controlador** es resuelto como un problema de optimización lineal, haciendo uso de los parámetros facilitados por el estimador de parámetros. La función objetivo trata de maximizar el sumatorio de los beneficios en la ventana de las próximas 10 iteraciones penalizando el desvío de inventario en que incurriría. Se representa en la Ecuación 8.

$$\max \sum_{j=1}^n B^o(j) - k \cdot \sum_{j=1}^n (I(j) - I_{ref})^2$$

$$I(j) = A_1 \cdot I(j-1) + A_2 \cdot \Delta P(j)$$

$$B^o(j) = B_1 \cdot B^o(j-1) + B_2 \cdot \Delta P(j)$$

Ecuación 8. Problema de optimización del controlador.

En este caso A_1 , A_2 , B_1 y B_2 son conocidos y se trata de averiguar el resto de las incógnitas que maximicen la función objetivo.

La fuerza del control de inventario frente a la maximización del beneficio viene determinada por la constante k . Si k fuera muy elevada el agente creador de mercado le otorgaría mayor importancia a mantenerse en torno a su inventario de referencia que a maximizar sus beneficios; en caso de que k fuera muy baja movería los precios independientemente de su inventario con ánimo de generar mayores beneficios. El valor de k depende tanto del precio como de su inventario y es calculado en cada iteración en base a la siguiente ecuación.

$$k = 25 \cdot \frac{\text{precio}}{I}$$

Ecuación 9. Valor de k .

4.2.2.2 Inversor Utilitario

El Inversor Utilitario carece de un interés real en generar beneficios en sus inversiones. Compra cuando puede o quiere y vende por pautas similares sin prestar mayor atención a lo sucedido en el entorno.

Su comportamiento es puramente **reactivo** y se podría decir que casi aleatorio. El agente inversor utilitario tiene la capacidad de enviar órdenes market, aunque muy de vez en cuando, de ahí su intervalo de actuación de 8 segundos. En cada iteración puede comprar, vender o mantener la estructura de su activo.

La distribución de probabilidad de compra y venta es de un 35% y la de no actuar un 30%. Qué acción realizar viene determinada por un número aleatorio de intervalo $[0, 10)$. A su vez, como consecuencia de la influencia ejercida por los medios de comunicación, se guiará por un pronóstico que en caso positivo incrementará en un 15% la probabilidad de compra y en caso negativo incrementará la probabilidad de venta en el mismo porcentaje. Dicho pronóstico le será facilitado por la agencia de noticias, conocedora de lo sucedido en el mercado.

Es interesante mencionar que el agente inversor utilitario no presta atención alguna al precio. Como se podrá observar es el único inversor que no presta atención al precio o que no es realmente capaz de evaluarlo.

Cada orden de compra o venta tendrá un tamaño concreto e invariable, pudiendo adquirir varios lotes consecutivamente siempre con saldo positivo ó venderlos hasta quedarse sin acciones.

Todas sus órdenes, al igual que el creador de mercado, son destinadas al exchange, el cual le devolverá casaciones. Este agente inversor utilitario, en tal caso, necesita interactuar con la agencia de noticias y el exchange.

4.2.2.3 *Inversor Fundamental*

Siguiendo el análisis fundamental, el agente inversor fundamental comprará si el precio está en un margen por debajo del valor fundamental y venderá si está en un margen distinto por encima.

El **valor fundamental** de una empresa, y por lo general de la economía, es cíclico, son los denominados ciclos económicos. Este valor es calculado en la agencia de noticias, apartado en el que se explicará su funcionamiento.

El agente inversor fundamental necesita ponerse en contacto con la agencia de noticias para que le facilite el valor fundamental y el último precio de casación. En cualquier caso, no existe inversor alguno en el mundo con la información suficiente y la

metodología adecuada para calcular el valor fundamental exacto, según Tom Copeland, [COPE00], llegando a incurrir en un error de hasta un 30%. Sólo compran cuando consideran el precio exageradamente barato y venden cuando el valor está en precio o es excesivamente caro. Cada agente, por lo tanto, comprará con un margen de entre el 0% y el 30% por debajo del valor fundamental; y venderá con un margen de entre el -10% y el 50% por encima del mismo valor fundamental.

Este comportamiento, basado en un valor fundamental ajeno a la situación del mercado, se califica de **proactivo**.

Pero, a su vez, este inversor dispone de un segundo comportamiento, en este caso **reactivo**, que entra en juego tras adquirir una serie de acciones a un precio determinado. Si seguidamente el precio de las mismas se desplomara más allá de un 40%, el agente enviaría órdenes de venta con la intención de vender todas sus acciones.

El envío de todas sus órdenes market, al igual que el resto de agentes, tiene por destino el exchange. De lo que se deduce la necesidad del inversor fundamental de comunicarse con la agencia de noticias y el exchange.

Por último, mencionar que el intervalo de actuación de este agente es cada 4 segundos, punto intermedio entre los dos agentes anteriores.

4.2.2.4 *Inversor Técnico*

Último de los participantes identificados, se guía por el análisis técnico.

De entre todas las técnicas disponibles, la **media móvil** es de las más utilizadas y la más significativa al desarrollar sistemas de compraventa automáticos. Puede ser de varios días, semanas o meses. Cuanto más corto sea el periodo más se acercará al precio pero más veces oscilará de un lado al otro del mismo -por encima o por debajo-; en cambio, periodos más grandes identifican tendencias a más largo plazo.

Un agente inversor técnico comprará cuando la media móvil se encuentre inmediatamente por debajo del precio y venderá en el caso contrario. Al igual que el valor fundamental, la media móvil es calculada en la agencia de noticias, concretamente lleva el cálculo de tres medias móviles distintas con la finalidad de otorgar la opción de elegir a cada inversor.

Este único conjunto de intenciones que rige su comportamiento es **proactivo**, prediciendo la evolución del mercado en base a medias móviles.

En un intervalo de actuación similar al inversor fundamental, el técnico actuará cada 3 segundos. Momento en el que tendrá que ponerse en contacto, al igual que los otros dos inversores, con la agencia de noticias para obtener la media móvil y el precio actual; y con el Exchange para el envío de sus órdenes, también market, y recepción de casaciones.

4.2.2.5 *Exchange*

Como ya ha sido mencionado, el exchange es destino de todas las órdenes enviadas por los inversores y creador de mercado.

Su comportamiento es puramente mecánico. Mantiene un libro de órdenes actualizado con la llegada de órdenes limited y ejecuta las casaciones pertinentes con la llegada de órdenes market. Con cada nueva casación informa a los participantes de la misma y a la agencia de noticias, con la finalidad de que esta última haga un seguimiento de lo sucedido en el mercado.

Restringe la existencia de más de una orden limited de compra o venta por participante. Por lo que cada vez que el agente creador de mercado envíe nuevas órdenes las anteriores serán eliminadas.

Cabe destacar que es el único agente que se comunica con todos los existentes en el mercado. El exchange está en un estado de escucha permanente y solo actúa con la llegada de mensajes de otros agentes. Carece de intervalo de actuación.

4.2.2.6 *Agencia de Noticias*

Al igual que el exchange, la agencia de noticias tiene un carácter meramente funcional. Su principal objetivo es hacer un seguimiento de lo sucedido en el mercado, calcular el pronóstico, el valor fundamental y las medias móviles.

Esta información será de utilidad para los distintos inversores que soliciten la información pertinente en sus intervalos de actuación. Este agente cooperará con el resto facilitándoles la información requerida.

El **pronóstico** intenta representar el sentimiento de la gran mayoría de los participantes del mercado. Si los inversores realizan muchas compras consecutivas contra el creador de mercado el pronóstico tiende a ser positivo, por el contrario el pronóstico tenderá a ser negativo ante la sucesión de numerosas órdenes de venta. Oscila en el rango $[-5, +5]$, se incrementa en $+0'2$ con cada orden de compra y decrece en $-0'2$ con cada orden de venta.

El **valor fundamental**, cíclico en la realidad, ha sido modelado en una ecuación senoidal, Ecuación 10, que oscila cíclicamente en un rango máximo y mínimo cada x segundos.

$$\text{valor.fundamental} = 10 + 5 \cdot \text{sen}(0'2 \cdot \text{tiempo})$$

Ecuación 10. Valor Fundamental.

Oscilará entre 5 y 15 en periodos de 30 segundos, según la Figura 25. Los cambios del valor fundamental son discretos, se producen cada 2 segundos.

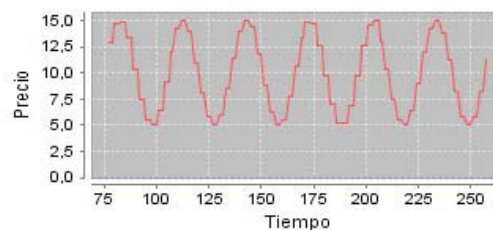


Figura 25. Valor Fundamental.

Las 3 **medias móviles** mencionadas son de 10, 20 y 30 segundos. Aquellos agentes inversores técnicos que se guíen por la media móvil de 10 segundos comprarán y venderán más frecuentemente que los que se guíen por la de 30 segundos. No por ello incrementan su probabilidad de éxito.

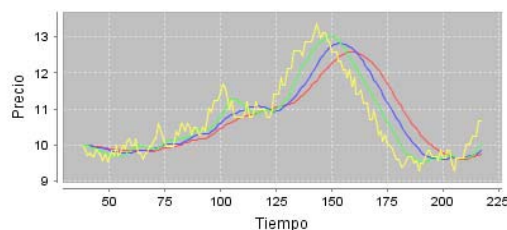


Figura 26. Medias móviles.

4.2.3 Análisis de Entorno

La arquitectura de un agente depende en gran parte de su entorno. Michael Wooldridge, [WOOL02], identifica cinco características capaces de clasificar un entorno y, por tanto, de evaluar la complejidad de un agente que participe en el mismo.

A partir del análisis de la microestructura del mercado financiero se identifican las características del entorno MASSM.

Es **accesible** en tanto en cuanto la agencia de noticias facilita la información solicitada por todos los agentes. Aunque, precisamente por el papel que representa, el agente creador de mercado, al igual que en la realidad, es el que más información dispone de lo que realmente está sucediendo en cada instante.

Se podría afirmar **indeterminista** pues, a pesar de que todos los agentes inversores del mercado saben que sus órdenes siempre serán casadas, no siempre el precio evolucionará de la manera esperada. De igual manera, el agente creador de mercado puede casar las órdenes al precio que el desee, pero le es imposible predecir con certeza la evolución del flujo de órdenes.

Por supuesto, el precio, elemento primordial de toda negociación, es dinámico. Es el referente de la gran mayoría de los participantes y todos influyen sobre él continuamente. Crean un entorno **dinámico** y **continuo**.

Cada simulación es un único episodio que empieza con el arranque del sistema multiagente y termina con su finalización. Por lo que es un sistema **no episódico**.

En consecuencia el entorno, de cara a los agentes, es complejo por ser indeterminista, dinámico, continuo y no episódico; pero aun así, a favor de su desarrollo está en gran medida su accesibilidad.

4.3 Sistema - MASSM

4.3.1 Plataforma JADE

La plataforma, AgentToolkit, escogida es JADE, Java Agent DEvelopment Framework. Es una herramienta de libre distribución que facilita el desarrollo y la gestión de los sistemas multiagente. Es flexible en la elección de la arquitectura del agente y su desarrollo es en Java con acceso a la API de JADE.

Esta plataforma contiene una serie de funcionalidades que permiten al investigador centrar su atención en los elementos propios del agente inteligente. Un agente equivale a nivel de proceso a al menos un hilo de ejecución, probablemente más de uno de media. La sincronización de estos hilos y su paralelismo es gestionado al completo por JADE: su número, su creación, su temporización y su eliminación.

Un segundo elemento importante en un sistema multiagente son sus comunicaciones. Se sucederán una serie de agentes actuando en paralelo con ánimo de comunicarse entre ellos: negociar, coordinar y cooperar. Estas actividades requieren el intercambio de un elevado número de mensajes, éstos se deben enviar y recibir con control de pérdidas y sin retraso. JADE gestiona las comunicaciones a través de RMI, Remote Method Invocation, que permite a un objeto Java ejecutándose en una Java Virtual Machina, JVM, llamar a métodos de otro ejecutándose en otra JVM distinta.

RMI puede ser más pesado de procesar que mensajes TCP/IP o UDP/IP, pero garantiza la concurrencia, llegada de mensajes y procesamiento de los mismos. Todas las comunicaciones de JADE siguen el estándar FIPA ACL y utilizan el Message Transport Protocol, MTP, ambos desarrollados por la FIPA.

El desarrollo de un agente inteligente en JADE se basa en behaviour's. Cada agente contiene uno o más behaviour's que actúan paralelamente y determinan su comportamiento. Se podría identificar cada behaviour con un hilo de ejecución, lo que implica que el agente puede estar llevando a cabo múltiples actividades al mismo tiempo.

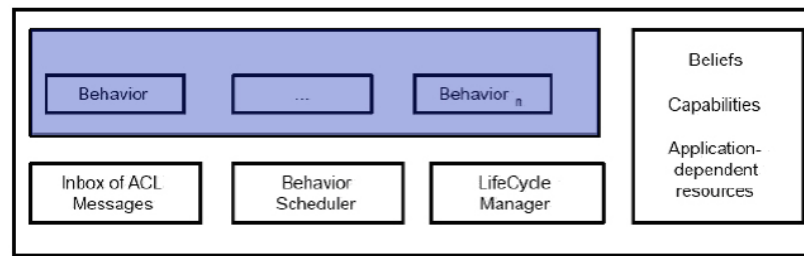


Figura 27. Behaviour's en JADE.

JADE define distintos tipos de behaviour's que derivan del Behaviour genérico:

- One-Shot Behaviour. Se ejecuta inmediatamente y sólo una vez.
- Cyclic Behaviour. Se ejecuta cíclica y continuamente. Una vez ha acabado de ejecutarse empieza de nuevo.
- Waker Behaviour. Se ejecuta una única vez pasado un intervalo de tiempo.
- Ticker Behaviour. Se ejecuta periódicamente cada intervalo de tiempo definido.

Estos son implementados en los agentes para dotarles de inteligencia. Cada behaviour implementado heredará de alguno de los mencionados y, dependiendo de ello, tendrán que sobrescribir unos métodos u otros. Los agentes de MASSM combinarán paralelamente el uso de One-shot behaviour, Cyclic behaviour y Ticker behaviour.

El inversor utilitario por ejemplo, define tres behaviour's como se explicará más adelante:

```
public class InversorUtilitario extends GuiAgent
{
    [...]

    protected void setup()
    {
        [...]

        addBehaviour(new RecepcionMensajesBehaviour());
        addBehaviour(new InversionCiclicaBehaviour(this, 8000));
    }

    class RecepcionMensajesBehaviour extends CyclicBehaviour
    {
        public void action()
        {
            [...]

            addBehaviour(new ProcesoInversionBehaviour());

            [...]
        }
    }
}
```

```

class InversionCiclicaBehaviour extends TickerBehaviour
{
    public InversionCiclicaBehaviour(Agent a, long i)
    {
        super(a, i);
    }

    public void onTick()
    {
        addBehaviour(new ProcesoInversionBehaviour());
    }
}

class ProcesoInversionBehaviour extends OneShotBehaviour
{
    public void action()
    {
        [...]
    }
}

```

Entre los múltiples servicios ofrecidos por la plataforma cabe mencionar el **Directory Facilitator**, lugar en el que los agentes pueden anunciarse y ser descubiertos. Esta herramienta es especialmente útil para que un agente inversor, sin conocimiento previo de la dirección de la agencia de noticias, consulte el Directory Facilitator y éste le facilite dicha dirección.

La agencia de noticias por ejemplo, con ánimo de darse a conocer, se publicará en el Directory Facilitator con el siguiente método:

```

protected void publishService()
{
    DFAgentDescription dfd = new DFAgentDescription();
    dfd.setName(this.getAID());
    ServiceDescription sd = new ServiceDescription();
    sd.setType("agencia_noticias");
    sd.setName(getLocalName());
    dfd.addServices(sd);
    try
    {
        DFService.register(this, dfd);
    }
    catch(FIPAException ex)
    {
        ex.printStackTrace();
    }
}

```

Seguidamente, el inversor utilitario mencionado accederá a su dirección consultando el mismo DirectoryFacilitator:

```

private AID getService()
{
    DFAgentDescription dfd = new DFAgentDescription();
    ServiceDescription sd = new ServiceDescription();
    sd.setType("agencia_noticias");
    dfd.addServices(sd);
    try

```



```

    {
        DFAgentDescription[] result = DFService.search(this, dfd);
        if(result.length > 0)
        {
            return result[0].getName();
        }
    }
    catch(FIPAException ex)
    {
        ex.printStackTrace();
    }
    return null;
}

```

Por último, como plataforma para el desarrollo de sistemas multiagente permite su implementación en sistemas distribuidos. Haciendo realidad la comunicación entre agentes de diferentes ordenadores gracias al concepto de contenedor, explicado en el Capítulo 5.

4.3.2 Implantación del Modelo

En base a los comportamientos identificados en el Punto 4.2.2 se han de implantar los behaviour's necesarios para adecuar la conducta del agente inteligente a la realidad.

Todos los agentes, para la dotación de su aptitud social, capacidad de cooperación, coordinación y negociación, tienen un behaviour dedicado a la recepción constante de mensajes por parte de otros agentes, es el llamado *RecepcionMensajesBehaviour*. Hereda del *Cyclic Behaviour* y es ejecutado al completo con la llegada de cada nuevo mensaje.

Algunos de estos agentes, concretamente aquellos identificados con participantes del mercado –creador de mercado, inversor utilitario, inversor fundamental e inversor técnico– están capacitados a su vez con el *InversionCiclicaBehaviour*. Éste hereda del *Ticker Behaviour* y es ejecutado periódicamente en función del intervalo de actuación de cada agente que, como ya han sido definidos, son los descritos en la Tabla 1.

| Creador de Mercado | Inversor Utilitario | Inversor Fundamental | Inversor Técnico |
|--------------------|---------------------|----------------------|------------------|
| 1 segundo | 8 segundos | 4 segundos | 3 segundos |

Tabla 1. Periodos de actuación.

Este behaviour despierta al agente de su letargo otorgándole la oportunidad de actuar reactiva y proactivamente, en función de la evolución del mercado desde la última vez que operó sobre el mismo.

De entre estos participantes, los inversores –el creador de mercado no– se comunican con la agencia de noticias para pedir su cooperación y obtener una serie de datos que faciliten su toma de decisiones. Por ello, únicamente ellos recurren a un One-Shot Behaviour auxiliar que les orienta en el estado de su proceso de inversión llamado ProcesoInversionBehaviour.

A lo largo de la vida del mercado, en una simulación se procesa una suma de información difícil de interpretar por parte del usuario. El uso de gráficos actualizados en tiempo real facilita enormemente esta labor de comprensión. La implementación de los mismos viene descrita en el Punto 4.3.5.1, aunque es interesante comentar en este instante la necesidad por parte de los agentes de controlar este trasvase de información en los periodos de tiempo precisos para que tenga sentido. Para ello, los dos agentes que manejan mayor cantidad de información útil, la agencia de noticias y el creador de mercado, implementan estos gráficos y los regulan con el PintaGraficosBehaviour, que hereda de Ticker Behaviour.

Por último, el valor fundamental vive ajeno a todo lo sucedido en el sistema, pero también exige un procesamiento de datos que es llevado a cabo por el ValorFundamentalBehaviour, Ticker Behaviour. La agencia de noticias implementa este último behaviour junto con otro Ticker Behaviour denominado EstadísticasBehaviour, que provee el servicio Estadísticas on demand, Punto 4.3.5.3.

El conjunto de behaviour's implementados en el sistema multiagente, aunque no operan de igual manera en cada agente pero sí bajo el mismo objetivo, se sintetizan en la siguiente tabla, Tabla 2.

| | Creador de Mercado | Inversor Utilitario | Inversor Fundamental | Inversor Técnico | Exchange | Agencia de Noticias |
|----------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|------------------|----------|---------------------|
| RecepcionMensajesBehaviour | + | + | + | + | + | + |
| InversionCiclicaBehaviour | + | + | + | + | | |
| ProcesoInversionBehaviour | | + | + | + | | |
| PintaGraficosBehaviour | + | | | | | + |
| ValorFundamentalBehaviour | | | | | | + |
| EstadisticasBehaviour | | | | | | + |

Tabla 2. Behaviour's.

A continuación se describe cómo se ha programado la inversión o proceso de inversión de cada uno de los participantes.

4.3.2.1 *Creador de Mercado*

Es el más complejo de todos los participantes con capacidad reactiva, proactiva, aptitud social y aprendizaje en base a la experiencia en su segundo modelo. Vamos a analizar ambos por separado.

En cada periodo de actuación, el creador de mercado envía un nuevo par de órdenes limited con los precios actualizados en base a sus intenciones, las anteriores son retiradas por el exchange.

MODELO REACTIVO

Realiza el control de inventario en base a una ecuación tangencial, Ecuación 6. La implementación en Java ha sido realizada de la forma siguiente:

```
private static double CM_PRECIO_CERO = 10.0;
private static double CM_AMPLITUD = -8.0;
private static double CM_OMEGA = 0.0004;
private static double CM_SPREAD = 0.01;
private static int CM_TAMANO_LOTE = 1000;

[...]

precio = CM_PRECIO_CERO + (CM_AMPLITUD * Math.tan(unidades * CM_OMEGA));

[...]

ordencompra.setVolumen(CM_TAMANO_LOTE);
ordencompra.setPrecio(precio - (precio * CM_SPREAD));

[...]

ordenventa.setVolumen(CM_TAMANO_LOTE);
ordenventa.setPrecio(precio + (precio * CM_SPREAD));
```

Los valores P_0 -CM_PRECIO_CERO-, A -CM_AMPLITUD- y θ -CM_OMEGA- definen los precios fijados por el creador de mercado en función de la desviación de su inventario. La justificación de esos valores queda determinada por la parametrización del valor fundamental y el número de agentes inversores que participarán en la simulación del mercado.

MODELO REACTIVO Y PROACTIVO

Ejerce un control adaptativo digital para abarcar el control de inventario y la optimización de beneficios. El control adaptativo consta de dos pares entrada/salida, $\Delta P-I$ y $\Delta P-B^o$. La herramienta utilizada para el desarrollo del Estimador de Parámetros y el Controlador ha sido GAMS.

Todo el proceso de control adaptativo se lleva a cabo en cada nueva iteración del creador de mercado, es decir, cada intervalo de 1 segundo. En él se deben integrar Java y GAMS en el sistema multiagente.

El creador de mercado, desarrollado hasta el momento en Java, escribirá en un fichero de texto plano el histórico de incrementos de precio, inventario y beneficios de los 10 últimos segundos, es decir, de las 10 últimas iteraciones. Todo ello para los 2 estimadores: estimador de parámetros de inventario y estimador de parámetros de beneficio. A su vez, escribirá en otro fichero para el controlador con determinadas variables de configuración $-k$ entre ellas, Ecuación 9-.

El hilo de `InversionCiclicaBehaviour`, integrando el control adaptativo digital como parte del agente inteligente, controlará la ejecución de los tres archivos GAMS. Ejecutará inicialmente sendos estimadores, `estimador_inventario.gms` y `estimador_beneficio.gms`, los cuales generarán otro par de ficheros planos con los parámetros A_1 , A_2 , B_1 y B_2 que serán utilizados por el tercer ejecutable GAMS, `controlador.gms`. El resultado obtenido en `controlador.gms` indicará el incremento de precio que debiera ser el próximo input en el sistema del creador de mercado y, por lo tanto, representante de sus intenciones.

Este incremento de precio se presupone el óptimo para inducir la corrección de inventario pertinente y maximizar su beneficio teniendo en cuenta la desviación del inventario de referencia.

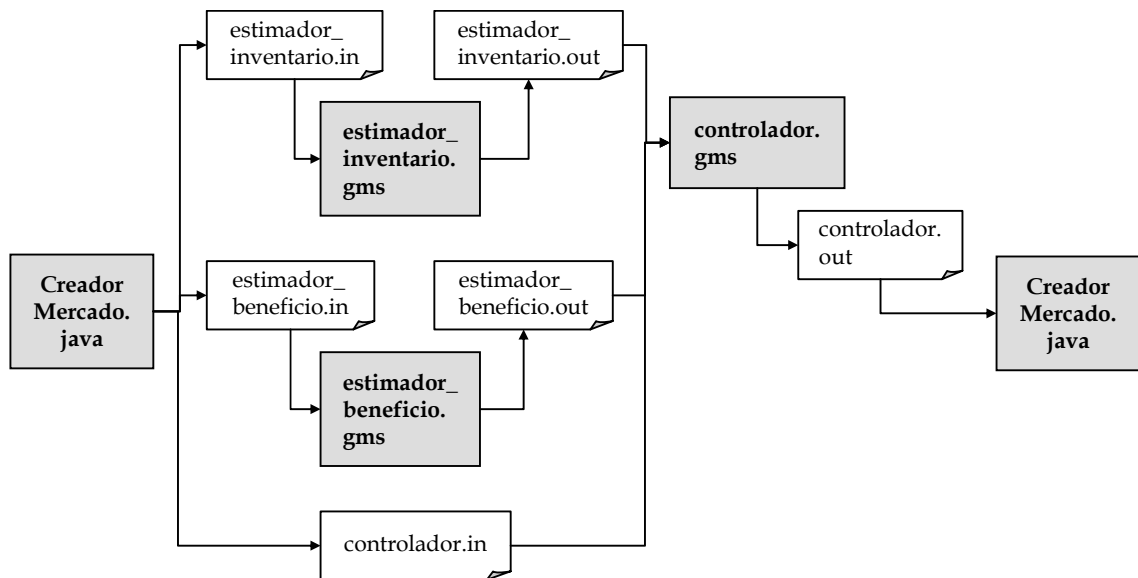


Figura 28. Integración Java – GAMS.

Ambos estimadores se resuelven por el método de mínimos cuadrados. En GAMS:

```

COSTE.. z =E= SUM(I, error(I) * error(I));
R1(I)$ (P(I)>0).. error(I+1) =E= Y(I+1) - a * Y(I) - b * U(I+1);

[...]

SOLVE PFC USING QCP MINIMIZING Z;
DISPLAY a.L, b.L;

```

Al ser únicamente la función objetivo no lineal lo resolvemos como Quadratically Constrained Program, QCP, con el solver CPLEX. Se obtienen así los parámetros A_i y B_i que mejor representan lo sucedido en los pasados 10 segundos.

Los parámetros obtenidos en los estimadores se utilizan en el controlador para ser resuelto como un problema de optimización. Se desea maximizar el beneficio de las próximas 10 iteraciones penalizando el desvío de inventario. El resultado que nos interesa es el próximo incremento de precio determinado por *precio*.

```

COSTE..
  z =E= SUM(J, beneficio(J)) - k * SUM(J, sqr(inventario(J) - inventario_ref));
R1(J)$ (P(J)>0)..
  beneficio(J) =E= A('N1') * beneficio(J-1) + A('N2') * precio(J);
R2(J)$ (P(J)>0)..
  inventario(J) =E= B('N1') * inventario(J-1) + B('N2') * precio(J);

[...]

SOLVE PFC USING QCP MAXIZING Z;
DISPLAY precio.L('N1');

```

La función objetivo de este módulo de GAMS también es resuelto por programación cuadrática.

4.3.2.2 *Inversor Utilitario*

Como ya se ha mencionado numerosas veces, el inversor utilitario no busca obtener los beneficios propios del movimiento de acciones, por lo que su comportamiento se dice pseudoaleatorio.

Inicialmente ha de determinar qué volumen de acciones quiere comprar o vender. Lo realiza en base al tamaño de su lote predefinido y el total de saldo y acciones disponibles.

```
private static int INVERSORUTILITARIO_TAMANO_LOTE = 50;

[...]

int volumencompra = 0;
if((INVERSORUTILITARIO_TAMANO_LOTE * precio) < saldo)
{
    volumencompra = INVERSORUTILITARIO_TAMANO_LOTE;
}
int volumenventa = INVERSORUTILITARIO_TAMANO_LOTE;
if(volumenventa > unidades)
{
    volumenventa = unidades;
}
```

A continuación, en base al pronóstico recibido de la agencia de noticias y su tendencia a comprar o vender, evalúa sus opciones de compra y venta.

```
private static double INVERSORUTILITARIO_PRONOSTICO_POSITIVO = 0.65;
private static double INVERSORUTILITARIO_PRONOSTICO_NEGATIVO = 0.35;

[...]

double opcioncompra = INVERSORUTILITARIO_PRONOSTICO_POSITIVO;
double opcionventa = INVERSORUTILITARIO_PRONOSTICO_NEGATIVO;
if(pronostico > 0)
{
    opcioncompra -= 1;
}
else if(pronostico < 0)
{
    opcionventa += 1;
}
```

Finalmente, toma la decisión si comprar o vender con toda la información recabada en base a un número pseudoaleatorio generado por Java.

```
double accion = Math.random();

if((accion >= opcioncompra)&&(volumencompra > 0))
{
    // COMPRA //
    [...]
}
else if((accion < opcionventa)&&(volumenventa > 0))
{
    // VENDE //
    [...]
}
```

4.3.2.3 *Inversor Fundamental*

Centrado en el valor fundamental, el inversor fundamental también debe calcular inicialmente el volumen de acciones a comprar o vender –lo hace de la misma manera que el inversor utilitario pero con un tamaño de lote distinto– para después decidir cómo actuar:

```
private static double INVERSORFUNDAMENTAL_OLGURA_COMPRA = 0.7 +
    (Math.random() * (1.0 - 0.7));
private static double INVERSORFUNDAMENTAL_OLGURA_VENTA = 0.9 +
    (Math.random() * (1.5 - 0.9));
private static double INVERSORFUNDAMENTAL_PORCENTAJE_PERDIDA = 0.4;

[...]

if((precio < (valorfundamental * INVERSORFUNDAMENTAL_OLGURA_COMPRA)) &&
    (volumencompra > 0))
{
    // COMPRA //
    [...]
}
else if((precio > valorfundamental * INVERSORFUNDAMENTAL_OLGURA_VENTA) &&
    (volumenventa > 0))
{
    // VENDE //
    [...]
}
else if((unidades > 0) && (precio < precioultimacompra * (1.0 -
    INVERSORFUNDAMENTAL_PORCENTAJE_PERDIDA)))
{
    // VENDE //
    [...]
}
```

4.3.2.4 *Inversor Técnico*

Último participante del grupo de inversores, se guía por medias móviles. Determina el volumen de la misma manera que el inversor fundamental para posteriormente decidir como actuar:

```
if((precio > mediamovil)&&(volumencompra > 0))
{
    // COMPRA //
    [...]
}
else if((precio < mediamovil)&&(volumenventa > 0))
{
    // VENDE //
    [...]
}
```

4.3.2.5 *CARACTERÍSTICAS EN CONJUNTO*

Cada uno de estos agentes maneja una serie de variables *private static*. Son los **parámetros** que refinan el comportamiento del agente; se cargan al inicio de cada simulación y son utilizados a lo largo de la misma. Todos ellos vienen definidos en un

fichero de configuración –véase Punto 4.3.5.2–, aunque no en todos supondrá su valor definitivo.

Parte de estas constantes junto a algún otro elemento están regidas en cierta medida por números aleatorios. La finalidad de estos números aleatorios es crear diferencias entre agentes del mismo tipo y dotar de diversidad al sistema. Los números aleatorios que influyen en el sistema, todos entre 0 y 1, son:

- Cada agente inversor entra en el mercado en un instante resultado del producto de un número aleatorio y su intervalo de actuación.
- El agente inversor utilitario consultará un número aleatorio en cada intervalo de actuación con ánimo de que determine la decisión a tomar. La distribución de probabilidad de comprar, vender o mantenerse dependerá del pronóstico facilitado por la agencia de noticias.
- El agente inversor fundamental, en su *setup()*, determina su margen de compra y venta del precio sobre el valor fundamental en base al producto de un número aleatorio y el porcentaje máximo en ese margen. Las constantes resultantes serán utilizadas por ese agente a lo largo de toda la simulación.
- El agente inversor técnico, también en su *setup()*, decidirá en base a qué media móvil guiarse de manera aleatoria entre todas las disponibles siguiendo una distribución homogénea. Al igual que el fundamental, será su referente a lo largo de toda la simulación.

El conjunto de participantes en cada simulación se tiene que distribuir de una manera concreta según ha sido definido en el Punto 4.2.1. El porcentaje de operaciones de cada tipo de agente debe responder aproximadamente a las cifras mostradas en la Tabla 3.

| Creador de Mercado | Inversor Utilitario | Inversor Fundamental | Inversor Técnico |
|--------------------|---------------------|----------------------|------------------|
| 50% | 25% | 12'5% | 12'5% |

Tabla 3. Distribución de agentes por simulación.

El 50% de operación del agente creador de mercado está cubierto desde el momento en que es el único proveedor de liquidez y órdenes limited, todas las casaciones se realizarán contra sus órdenes. Por consiguiente el total de la capacidad operativa de los

agentes restante se tiene que asignar la mitad a inversores utilitarios y la otra mitad a inversores fundamentales y técnicos.

4.3.3 Comunicaciones en el Sistema

El eje fundamental de un sistema multiagente y una de las principales razones por las que se ha escogido como tal para el desarrollo de este modelo es la aptitud social en la interrelación de agentes inteligentes. Las comunicaciones permiten a los agentes llegar a acuerdos por medio de negociaciones, cooperaciones o coordinaciones.

Las comunicaciones necesitan de un mapa de comunicaciones que defina los límites de comunicación entre agentes –Punto 4.3.3.1–, un protocolo de comunicaciones –FIPA ACL y MTP– y una ontología –Punto 4.3.3.2–.

4.3.3.1 Mapa de comunicaciones

Las vías de comunicación que tienen lugar en MASSM entre los distintos agentes inteligentes son las mostradas en la Figura 29. Todas las comunicaciones son bidireccionales excepto el flujo de información del exchange a la agencia de noticias.

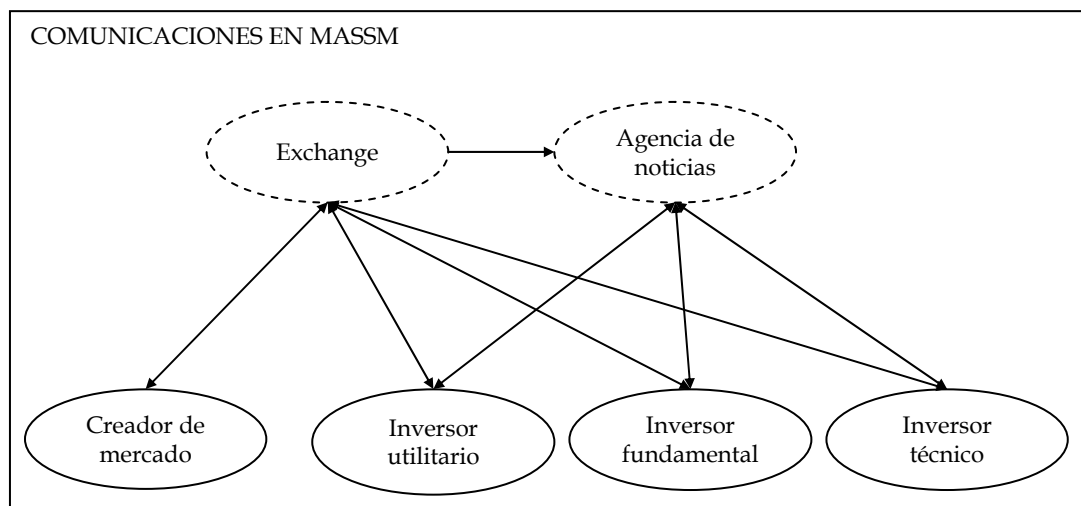


Figura 29. Comunicaciones entre agentes.

4.3.3.2 Ontología

Los procesos de comunicación se llevan a cabo según el estandar FIPA Agent Communication Language. Además del protocolo de comunicación MTP, los agentes

deben entender el mismo concepto en descripciones iguales, por ello es necesario definir un dominio de conceptos, es decir, una **ontología**.

Debido a los requisitos del mercado financiero, este dominio de conceptos está compuesto por tres elementos:

ORDEN

La orden expresa el deseo del agente de adquirir un bien, concretamente adquirir una serie de acciones a cambio de dinero ó viceversa. Son enviadas por los inversores y creador de mercado al exchange.

Una orden puede ser de compra o venta, market o limited; debe indicar el emisor y el volumen de acciones que se desean casar; y si fuera limited, también el precio de casación.

| | | | | | |
|---------|----------|--------------|----------------|---------|--------|
| IdOrden | IdAgente | Compra/Venta | Market/Limited | Volumen | Precio |
|---------|----------|--------------|----------------|---------|--------|

Tabla 4. Orden.

CASACIÓN

La casación determina el fin de una negociación de activos llevada a cabo entre dos agentes del sistema. Son devueltas en parejas desde el exchange al creador de mercado y al inversor participante. Cada casación corresponde a un par de órdenes, las cuales pueden haber sido casadas en su totalidad o sólo parcialmente. El exchange, además de hacer llegar la casación a los copropietarios de la misma, envía una copia a la agencia de noticias para que pueda contribuir a su labor de informar.

Define comprador, vendedor, volumen de casación, precio y los identificadores de las órdenes de las que ha sido consecuencia.

| | | | | | |
|-------------|------------|------------------|-----------------|---------|--------|
| IdComprador | IdVendedor | IdOrdenComprador | IdOrdenVendedor | Volumen | Precio |
|-------------|------------|------------------|-----------------|---------|--------|

Tabla 5. Casación.

TRAMA

La trama tiene únicamente carácter informativo, es utilizada entre inversores y agencia de noticias para cooperar y facilitar la información necesaria para que los primeros actúen en consecuencia. Cada inversor demanda por una serie de conceptos que le son devueltos a modo de array.

| | | | | |
|---------------------------------|-----------------------|-----|---------------------------------|-----------------------|
| DefinicionConcepto ₁ | Concepto ₁ | ... | DefinicionConcepto _n | Concepto _n |
|---------------------------------|-----------------------|-----|---------------------------------|-----------------------|

Tabla 6. Trama.

Como se puede observar en el mapa de comunicaciones, Figura 29, no existe comunicación entre el creador de mercado y la agencia de noticias. No es necesaria ya que en todas las casaciones que tienen lugar el agente creador de mercado actúa necesariamente como comprador o vendedor; realiza así un seguimiento preciso de la actuación del resto de agentes y carece de interés en el valor fundamental.

4.3.3.3 Proceso de Comunicaciones

Estos conceptos son utilizados en los distintos procesos de comunicación llevados a cabo entre los agentes. Existen dos metodologías claramente diferenciadas por su modo de actuación: inversores y creador de mercado.

Los inversores regulan su proceso de comunicación en el behaviour denominado *ProcesoInversionBehaviour*. En cada periodo de actuación operan de la siguiente manera, Figura 30.

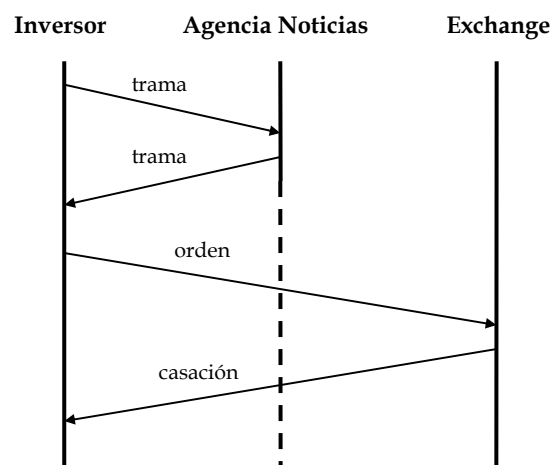


Figura 30. Proceso de comunicaciones de los Inversores.

El creador de mercado se comunica únicamente con el exchange, envía un par de órdenes limited de compra y de venta y espera las casaciones. Pueden darse una, varias o ninguna entre cada intervalo de actuación; lo tendrá en cuenta de cara a su siguiente movimiento.

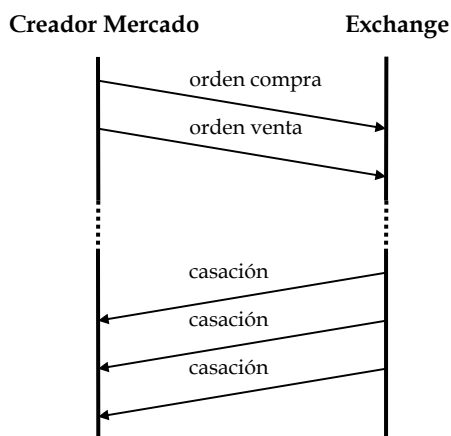


Figura 31. Proceso de comunicaciones del creador de mercado.

Cabe finalmente mencionar la vía de comunicación entre el exchange y la agencia de noticias, que en este caso es unidireccional.

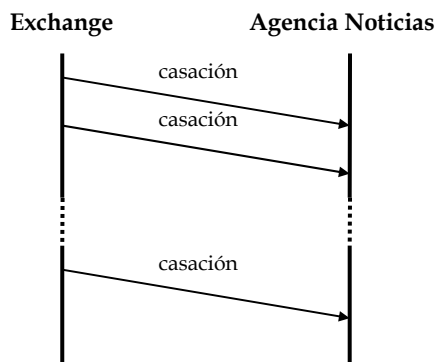


Figura 32. Proceso de comunicaciones del exchange.

4.3.4 Diagrama de Clases

El desarrollo, basado en programación orientada a objetos, ha sido estructurado en paquetes y clases. El conjunto de librerías utilizada por MASSM, siendo el paquete «market» el propio del sistema, es el mostrado en el Diagrama 1.



Diagrama 1. Árbol de librerías.

- «jade» son el conjunto de clases que componen la plataforma multiagente del Java Agent DEvelopment Framework.
- «java» librerías Java.
- «javax» librerías para el desarrollo de interfaces gráficos en Java.
- «org.jfree» paquete para el desarrollo de gráficos en tiempo real, detallado en el Punto 4.3.5.1.
- «org.w3c» correspondiente al World Wide Web Consortium, utilizado para los ficheros XML, Punto 4.3.5.2 y 4.3.5.3.

A su vez, «market» está estructurada en cuatro subpaquetes con sus correspondientes clases. Cada behaviour es programado como *innerclass* de la clase principal del agente al que pertenece. El siguiente esquema muestra el árbol de la aplicación con paquetes, clases e *innerclass*.

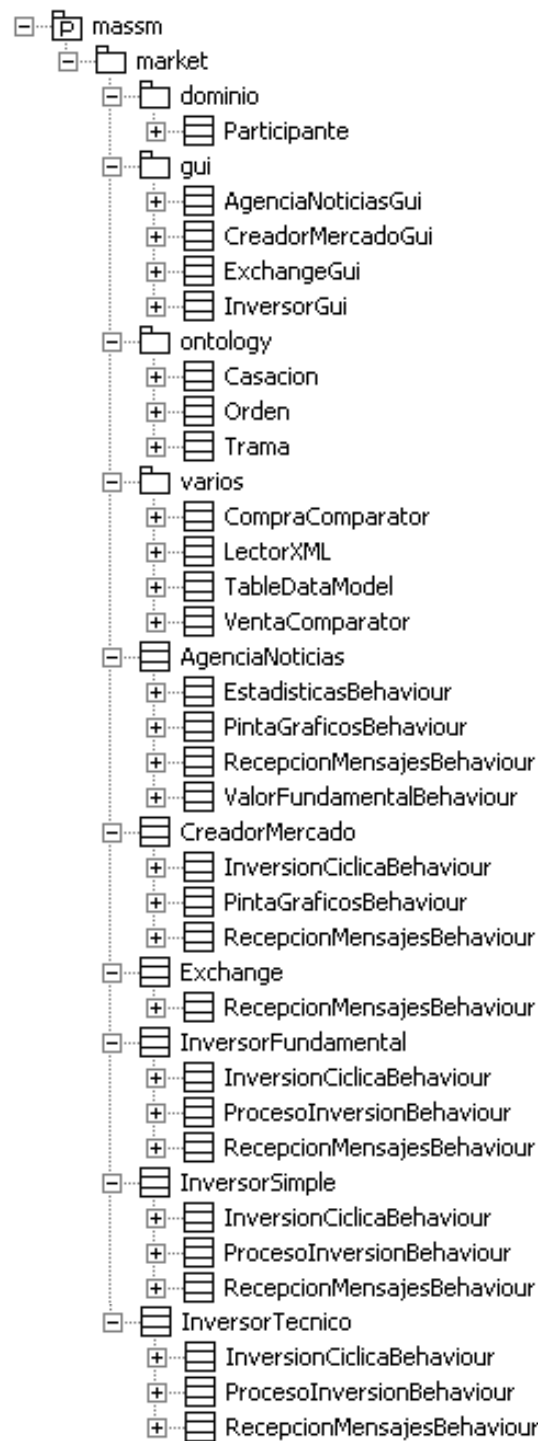


Diagrama 2. Árbol de clases.

Lo que hacen un total de 35 clases cuya estructura de paquetes es la siguiente, Diagrama 3.

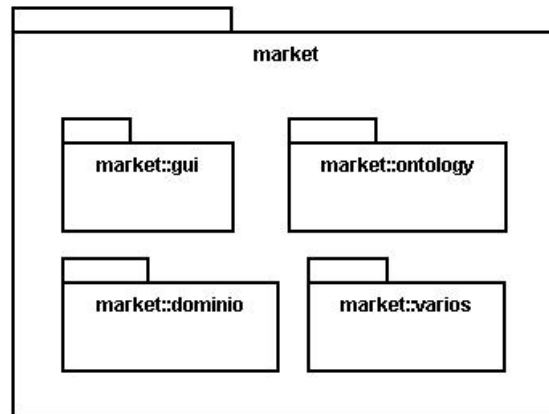


Diagrama 3. Diagrama de paquetes.

Contenidas directamente en el paquete «market» se tienen un número de clases. Son las seis que heredan de *GuiAgent* y representan la clase principal de cada agente. Cada una de ellas es contenedora de una *innerclass* por cada behaviour implementado.

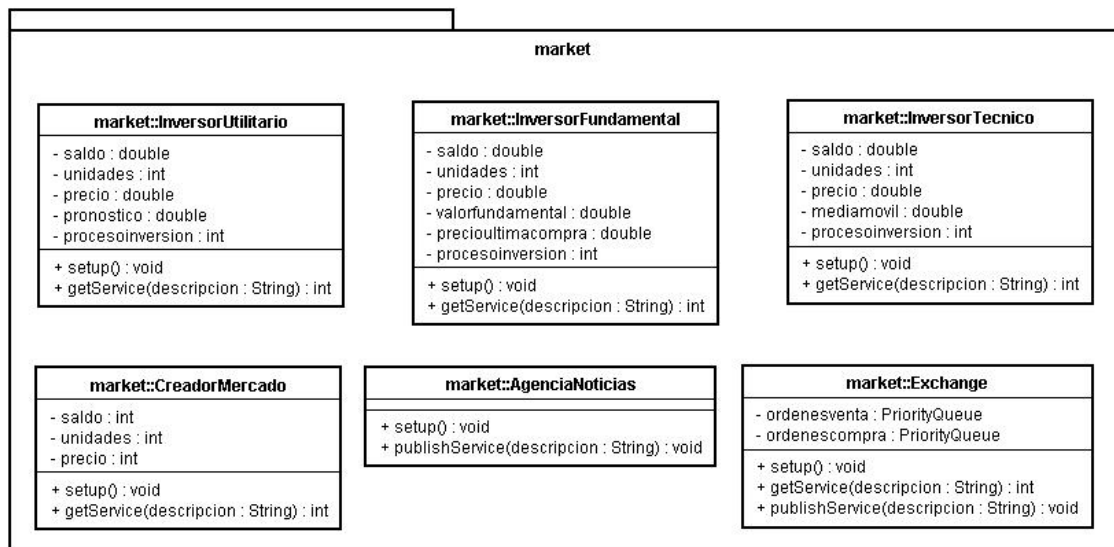


Diagrama 4. Diagrama de clases «market».

Las *innerclass* de los *GuiAgent* del Diagrama 4 son las representadas en los próximos seis diagramas.

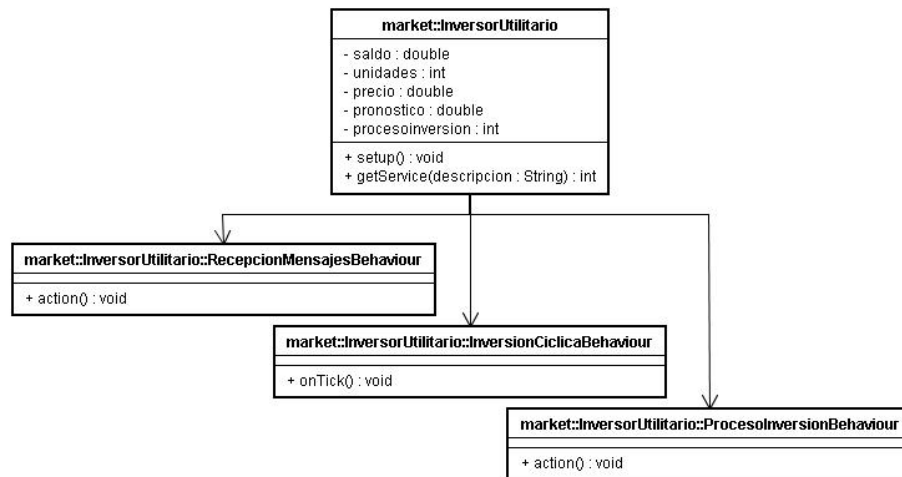


Diagrama 5. Behaviour's de Inversor Simple.

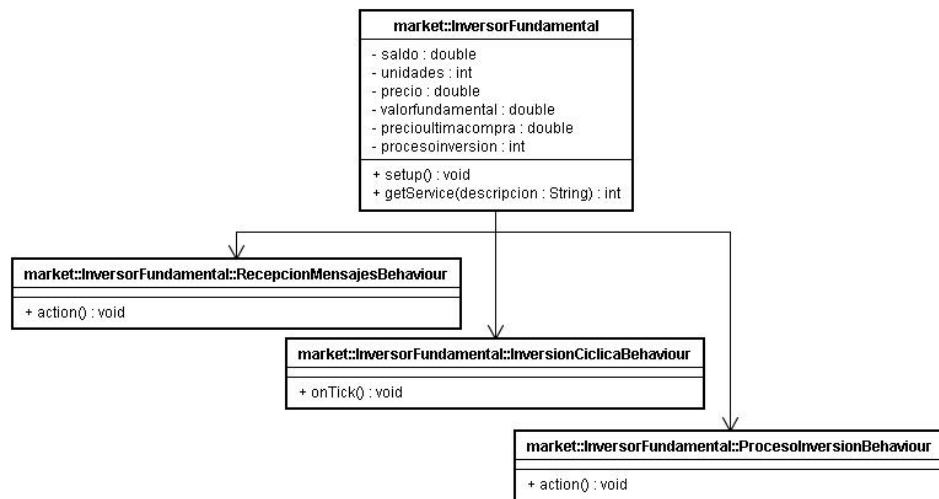


Diagrama 6. Behaviour's de Inversor Fundamental.

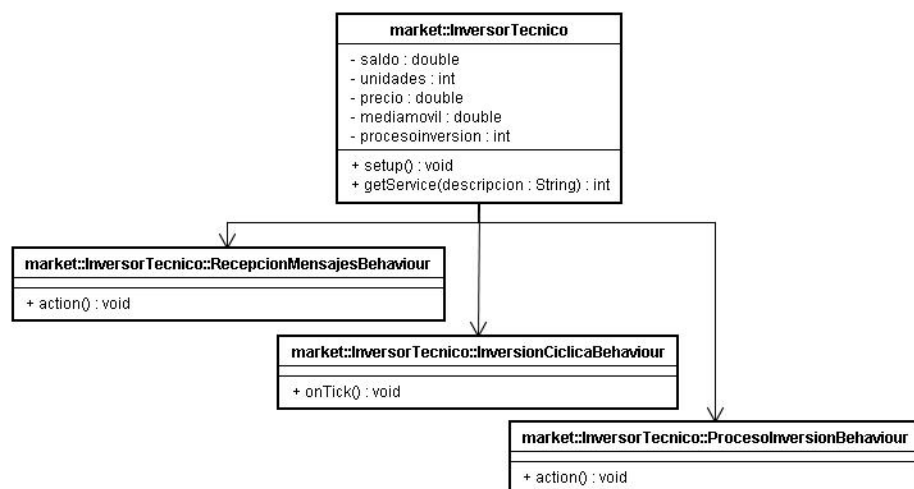


Diagrama 7. Behaviour's de Inversor Técnico.

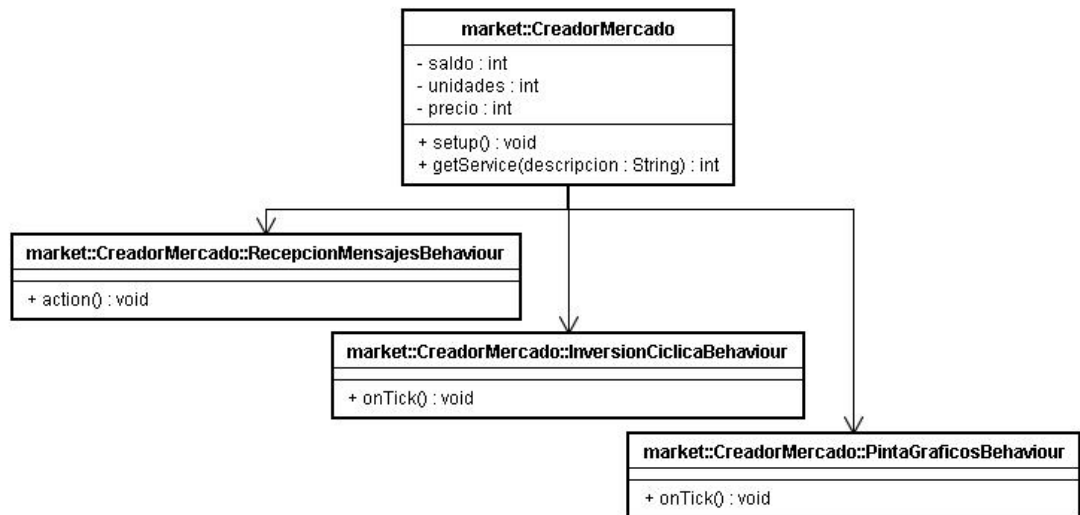


Diagrama 8. Behaviour's del Creador de Mercado.

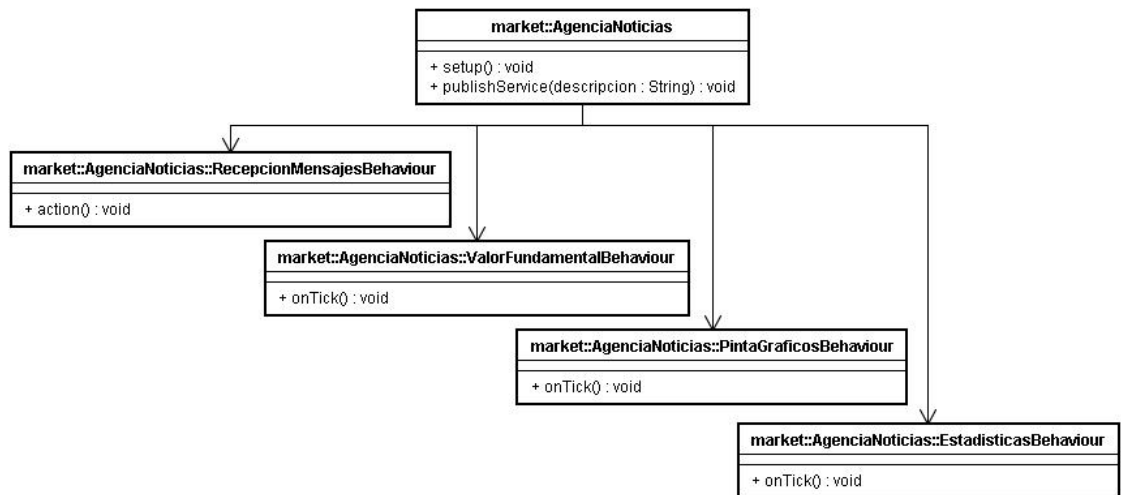


Diagrama 9. Behaviour's de la Agencia de Noticias.

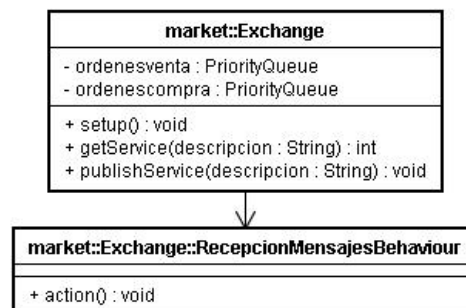


Diagrama 10. Behaviour's del Exchange.

Los cuatro paquetes internos –«market.gui», «market.ontology», «market.dominio» y «market.varios»– estructuran las clases restantes en conceptos.

El Diagrama 11, «market.gui», almacena los interfaces gráficos de los agentes. Se puede observar que en este caso no hay seis elementos –uno por *GuiAgent*–, sino, cuatro. Ello es debido a la similitud existente entre todos los inversores, lo que les permite hacer uso del mismo interfaz.

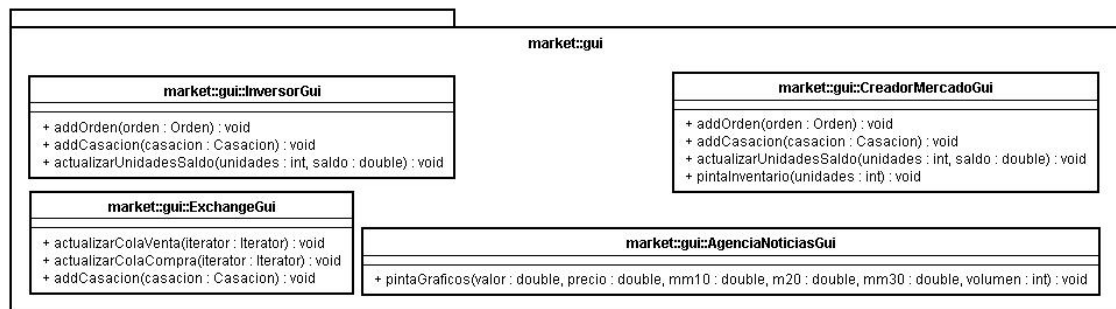


Diagrama 11. Diagrama de clases «market.gui».

El paquete «market.ontology» contiene la descripción de las ontologías definidas en el Punto 4.3.3.2. Cada ontología se corresponde con una clase Java.

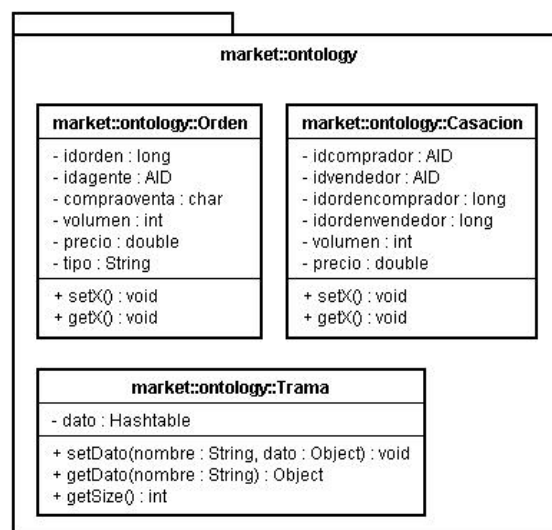


Diagrama 12. Diagrama de clases «market.ontology».

El paquete «market.dominio» abarca aquellos conceptos manejados por los agentes pero que no son parte de su ontología. Es decir, aquellos que un agente puede utilizar para su control interno y no necesita comunicar con el resto.

La clase `Participante.java` es utilizada por el agente `agencia de noticias` para almacenar los datos necesarios para las estadísticas.

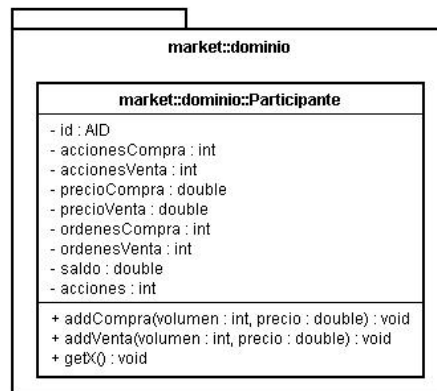


Diagrama 13. Diagrama de clases «*market.dominio*».

Finalmente, «*market.varios*» contiene un conjunto de clases auxiliares utilizadas por la mayoría de los agentes para cumplir con determinadas funcionalidades: `VentaComparator.java` y `CompraComparator.java` son dos *Comparator* utilizados por las *PriorityQueue* del exchange, constituye así el libro de órdenes del mercado; `TableDataModel.java` es el *AbstractTableModel* utilizado por todas las tablas de las GUI; y `LectorXML.java` utiliza la librería «*org.w3c*» del World Wide Web Consortium para que cada agente pueda cargar su configuración a partir de un fichero XML.

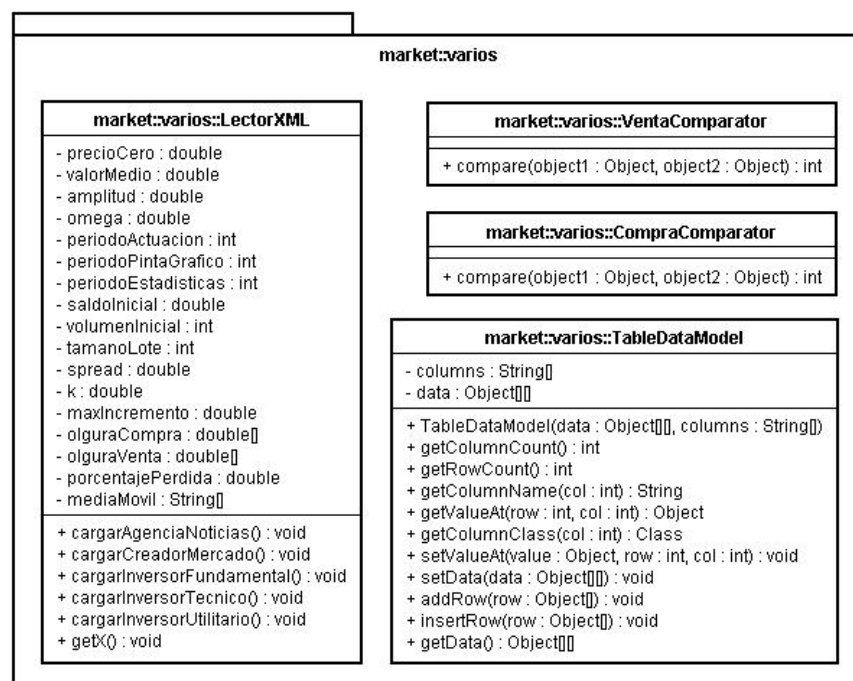


Diagrama 14. Diagrama de clases «*market.varios*».

4.3.5 Funcionalidades Extendidas

4.3.5.1 Gráficos JFreeChart

Según se ha ido mencionando a lo largo del Punto 4.3 se han implantado una serie de gráficos que trabajan en tiempo real para cumplir con unos objetivos. Sintetizan información, facilitan la comprensión de lo sucedido en el entorno por parte del usuario en tiempo real y permiten la identificación de patrones también reflejados en la realidad.

Para el desarrollo de estos gráficos se han usado las librerías de libre distribución JFreeChart, «org.jfree», de www.jfree.org. Se han utilizado dos tipos de gráficos: los *XYLineChart*, gráficos de líneas, y los *XYBarChart*, gráficos de barras.

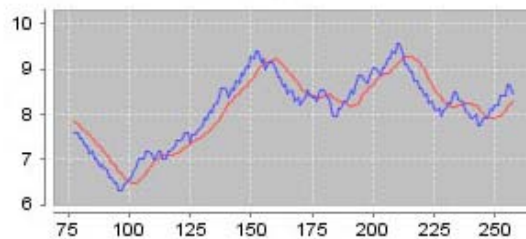


Figura 33. Gráfico de líneas JFreeChart.

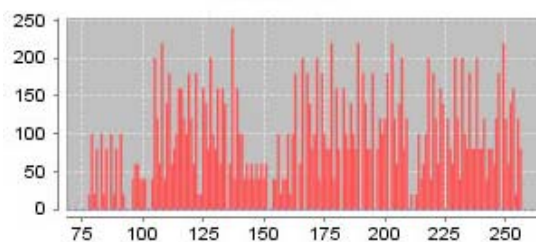


Figura 34. Gráfico de barras JFreeChart.

La implementación en código de un gráfico de líneas sería del tipo:

```
XYSeries serie = new XYSeries("Ejemplo");
serie.setMaximumItemCount(TAMANO_VENTANA);
XYSeriesCollection sc = new XYSeriesCollection();
sc.addSeries(serie);

XYDataset dataset = sc;
JFreeChart chart = ChartFactory.createXYLineChart(
    "Titulo",
    "x",
    "y",
    dataset,
    PlotOrientation.VERTICAL,
```

```

        false,
        false,
        false
    );

    ChartPanel chartPanel = new ChartPanel(chart, false);

```

Una de las grandes ventajas de estos gráficos es la posibilidad de actualizarlos en tiempo real por medio del objeto *XYSeries* y de exportarlos fácilmente a imágenes JPEG, útiles para las estadísticas.

4.3.5.2 Configuración del Sistema

Dada la complejidad del sistema y la cantidad de elementos parametrizables, se ha diseñado un fichero de configuración en XML. En él se asignan valores a las principales variables que rigen el comportamiento de los agentes inteligentes. Esto facilita realizar pequeños ajustes en el modelo de manera rápida y sin compilación.

El fichero de configuración tiene la forma:

```

<massm>

    <valor-fundamental>
        <periodo-cambio>3000</periodo-cambio>
        <valor-medio>10.0</valor-medio>
        <amplitud>5.0</amplitud>
        <omega>0.2</omega>
    </valor-fundamental>

    <agencia-noticias>
        <precio-inicial>10.0</precio-inicial>
        <periodo-pinta-grafico>1000</periodo-pinta-grafico>
        <periodo-estadisticas>30000</periodo-estadisticas>
    </agencia-noticias>

    <creador-mercado>
        <periodo-actuacion>1000</periodo-actuacion>
        <saldo-inicial>100000.0</saldo-inicial>
        <volumen-inicial>100000</volumen-inicial>
        <tamano-lote>1000</tamano-lote>
        <control-inventario>
            <precio-cero>10.0</precio-cero>
            <spread>0.01</spread>
            <k>2.5</k>
            <max-incremento-precio>0.02</max-incremento-precio>
        </control-inventario>
        <periodo-pinta-grafico>3000</periodo-pinta-grafico>
    </creador-mercado>

    <inversor-fundamental>
        <periodo-actuacion>4000</periodo-actuacion>
        <saldo-inicial>2000.0</saldo-inicial>
        <volumen-inicial>20</volumen-inicial>
        <tamano-lote>20</tamano-lote>
        <olgura-compra>
            <min>0.7</min>
            <max>1.0</max>
        </olgura-compra>
        <olgura-venta>
            <min>0.9</min>

```

```

        <max>1.5</max>
    </olgura-venta>
    <porcentaje-perdida>0.4</porcentaje-perdida>
</inversor-fundamental>

<inversor-tecnico>
    <periodo-actuacion>3000</periodo-actuacion>
    <saldo-inicial>2000.0</saldo-inicial>
    <volumen-inicial>20</volumen-inicial>
    <tamano-lote>20</tamano-lote>
    <media-movil>
        <opcion>mm10</opcion>
        <opcion>mm20</opcion>
        <opcion>mm30</opcion>
    </media-movil>
</inversor-tecnico>

<inversor-utilitario>
    <periodo-actuacion>8000</periodo-actuacion>
    <saldo-inicial>1000.0</saldo-inicial>
    <volumen-inicial>20</volumen-inicial>
    <tamano-lote>50</tamano-lote>
    <pronostico-positivo>0.65</pronostico-positivo>
    <pronostico-negativo>0.35</pronostico-negativo>
</inversor-utilitario>

</massm>

```

Como se puede observar existe un grupo de parámetros por cada agente inteligente –excepto del exchange dado su comportamiento mecánico–, y otro para el valor fundamental.

Durante su *setup()* cada agente carga estos parámetros en su memoria con la ayuda de la clase auxiliar *LectorXML.java* que, como ya ha sido descrita, dispone de un método *cargaX()* por cada uno de dichos agentes.

4.3.5.3 Estadísticas on demand

Ultimando las dotaciones del sistema, éste incorpora unas estadísticas que describen el rendimiento del mismo y de cada agente por simulación. Son calculadas cumplido un intervalo de tiempo –parametrizable en el fichero de configuración mencionado– y escritas en formato HTML. Permiten ser rápidamente accesibles y publicables en caso de desear implementar MASSM en un sistema distribuido.

La distribución gráfica de las estadísticas es de la forma mostrada en la pantalla siguiente, Figura 35

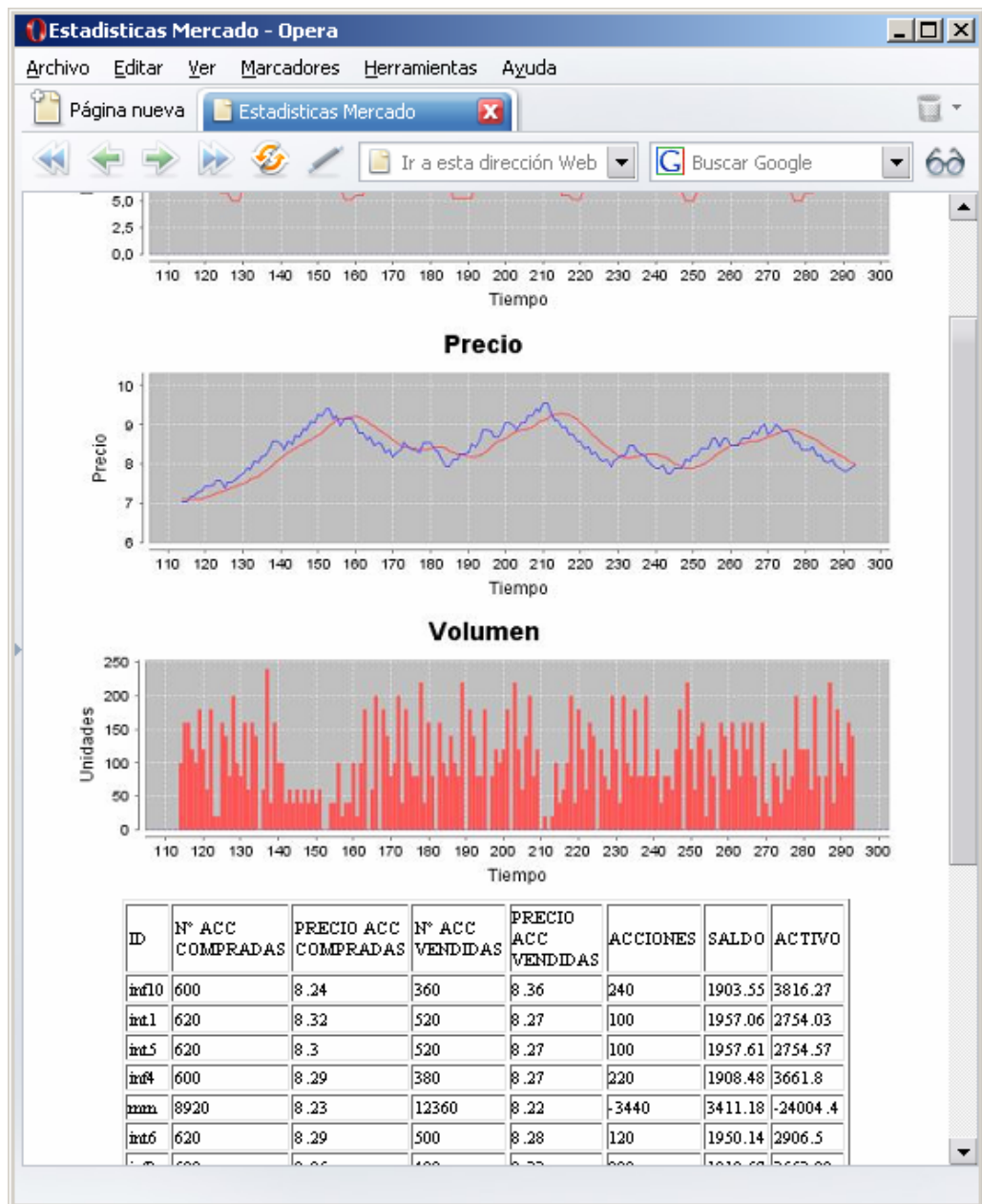


Figura 35. Estadísticas HTML.

Una manera intuitiva de interpretar el desempeño de un agente es comparando el precio medio de las acciones compradas y el precio medio de las acciones vendidas. Si son compradas a un precio menor de lo que son vendidas el agente está generando beneficios y, por lo tanto, su actuación está siendo positiva; en caso contrario estará incurriendo en pérdidas.

4.4 Requisitos del Sistema

4.4.1 Plataforma Software

MASSM ha sido desarrollado con ánimo de ser libre de sistema operativo y licencias. Se cimienta sobre la plataforma abierta J2SE y todos sus componentes son de libre distribución –se encuentran disponibles gratuitamente en Internet–.

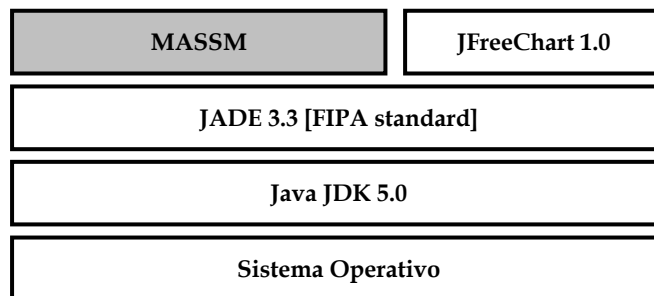


Figura 36. Plataforma Software.

La arquitectura, mostrada en la Figura 36, se levanta sobre el J2SE Development Kit 5.0. Gracias a la versatilidad y portabilidad proporcionada por el framework Java permite crear un entorno independiente del sistema operativo y de la plataforma hardware. Sobre la JDK se emplaza el Agent Toolkit o plataforma para el desarrollo de agentes JADE 3.3, que sigue las directrices marcadas por el estándar de la FIPA. Finalmente, encima de dicha arquitectura se implanta el sistema MASSM desarrollado y que hace uso de la librería JFreeChart para el diseño de gráficos dinámicos.

La JDK 5.0 –J2SE Development Kit– proporciona las herramientas necesarias para desarrollar aplicaciones J2SE. Está disponible de manera gratuita en <http://java.sun.com/j2se/1.5.0/>.

La plataforma JADE 3.3 –Java Agent DEvelopment Framework– se encuentra disponible en <http://jade.tilab.com/>, página oficial de los laboratorios TILab.

Finalmente, la librería de gráficos en Java JFreeChart 1.0 distribuida bajo la licencia GNU Lesser General Public Licence se encuentra en <http://www.jfree.org/jfreechart/>.

4.4.2 Recursos Hardware

Los requerimientos hardware de MASSM son asequibles para un usuario medio.

Se puede identificar cada agente o grupo de agentes –más de 20 si se desea– con una sesión Java. Cada sesión ocupa de media 25 MB de memoria RAM.

La sobrecarga de CPU se hace notoria con la simultaneidad de un elevado número de agentes en un mismo PC, principalmente por los mensajes RMI de comunicación entre agentes y los gráficos JFreeChart.

Por ello, una gran ventaja de MASSM y los sistemas multiagente es su escalabilidad a sistemas distribuidos, múltiples ordenadores conectados en red. Lo que permite afirmar que no existe limitación en el número de agentes ya que pueden ser distribuidos en distintas máquinas.

En cualquier caso cabe mencionar que la totalidad del desarrollo del proyecto y todas sus simulaciones se han llevado a cabo en un ordenador portátil de las siguientes características:

- Intel Pentium IV 1'8 GHz
- 512MB DDR-SDRAM
- 20GB de disco duro

5

SIMULACIÓN

5 SIMULACIÓN

5.1 Plataforma y Contenedores

El objetivo del presente capítulo es mostrar el proceso de ejecución de una simulación ejemplo. Desde la llamada a JADE y la ejecución de sus agentes hasta la interfaz visible al usuario durante la simulación.

JADE estructura la gestión de un sistema multiagente en contenedores. Cada contenedor controla uno o varios agentes. Un único sistema multiagente puede tener varios contenedores interactuando desde distintos ordenadores, con la única restricción de que no puede haber más de un contenedor por ordenador. Estos contenedores son por lo tanto la base de JADE y de MASSM como sistema distribuido. Obsérvese el esquema de la Figura 37, [CAIR03].

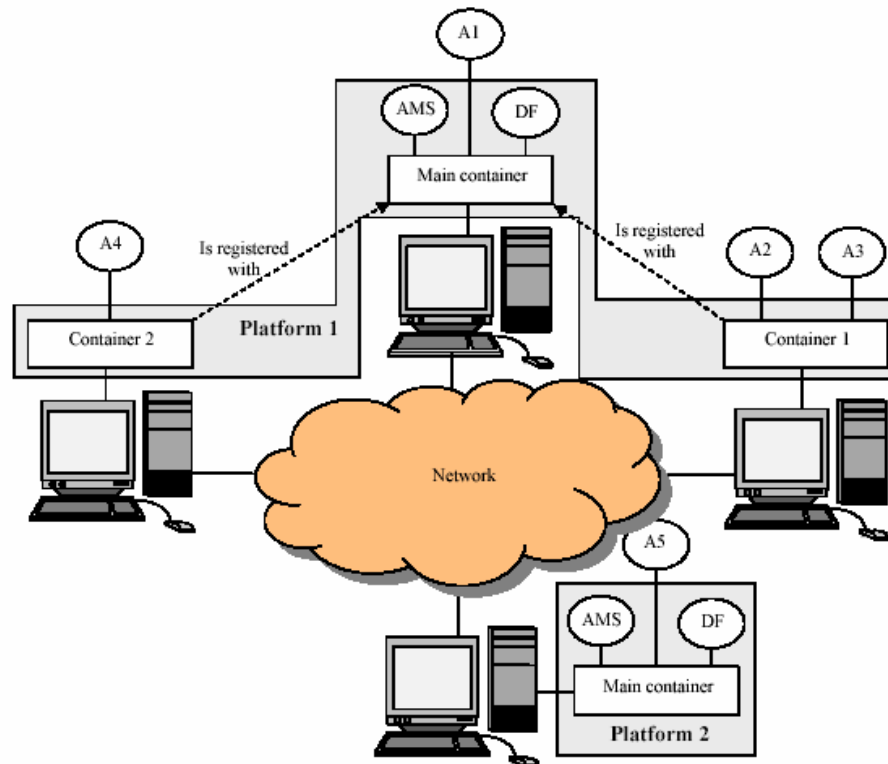


Figura 37. Contenedores JADE.

5.2 Arranque del Sistema

Los agentes pueden ser ejecutados individualmente o en grupo. En este caso puede ser interesante ejecutar algunos individualmente y otros en grupo. La exigencia de la ejecución individual de algunos de ellos es debido a su necesidad de anunciarse en el Directory Facilitator, el resto de ellos consultarán el mismo DF durante su *setup()* con ánimo de encontrar determinados servicios.

El primer agente que se ejecute tendrá que arrancar la plataforma JADE y el contenedor sobre el que todos operarán en ese ordenador. El resto de agentes arrancarán directamente desde dicho contenedor principal.

El agente agencia de noticias es el primer agente, su ejecución desde la ventana de comandos se lanza de la forma mostrada en la Figura 38.

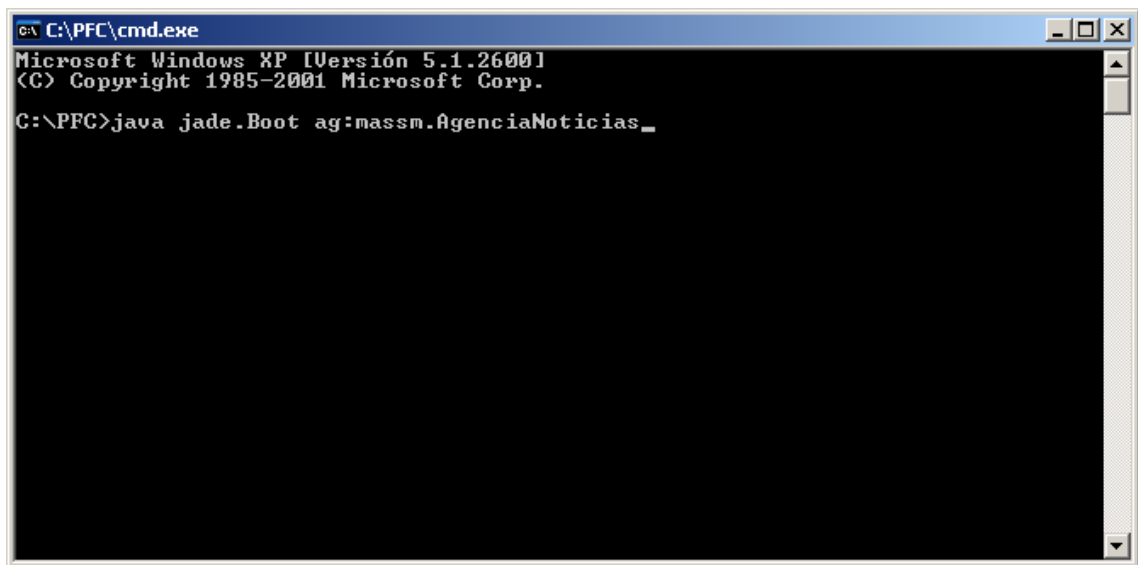


Figura 38. Arranque del Main Container.

En el arranque del agente se ha de indicar el identificador del agente y la ubicación de su archivo *.class*. Es importante que no haya dos identificadores iguales en un mismo sistema pues es el medio de identificación de los agentes. La ejecución del resto de ellos se diferencia en el parámetro *-container*, este parámetro es utilizado para decirle a JADE que ya existe un contenedor principal en ese ordenador. En línea de comandos son:

- `java jade.Boot -container ex:massm.Exchange`

- `java jade.Boot -container cm:massm.CreadorMercado`
- `java jade.Boot -container inu:massm.InversorUtilitario`
`inf:massm.InversorFundamental int:massm.InversorTecnico`

En el último comando se puede observar como se ejecutarían varios agentes al mismo tiempo y en una misma sesión Java.

5.3 Ejecución del Sistema

En cada simulación se dispone de una ventana GUI por agente. Estas ventanas permiten al usuario realizar un seguimiento en tiempo real de la evolución de los agentes. En las siguientes figuras se muestra la GUI de cada agente.

El agente agencia de noticias muestra en tres gráficos el histórico de los últimos 180 segundos: valor fundamental, precio y volumen.

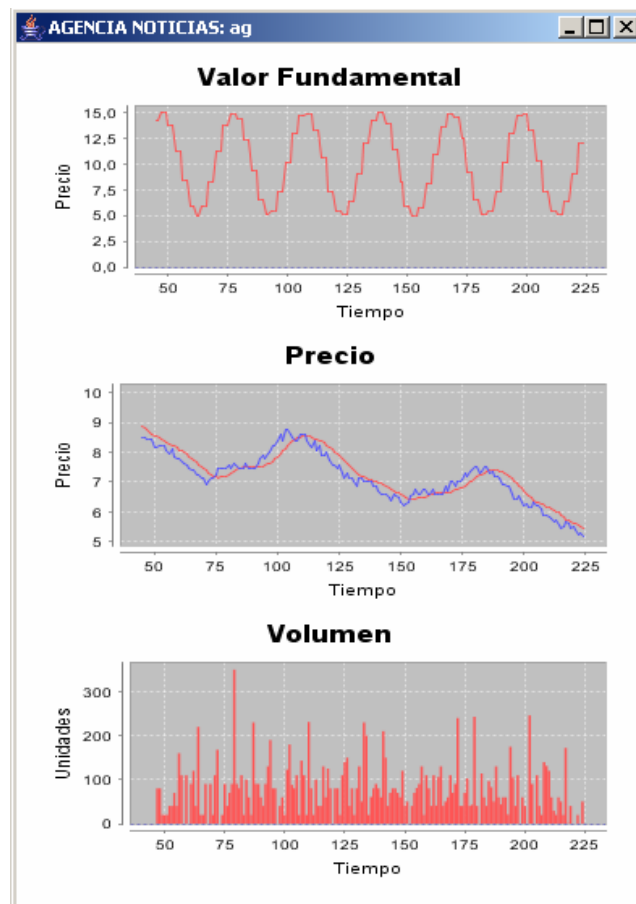
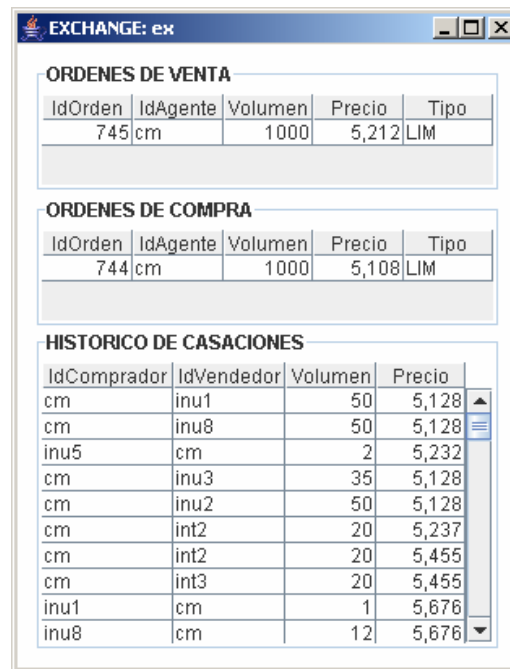


Figura 39. GUI Agente Agencia de Noticias.

El agente exchange, lugar donde tienen lugar todas las casaciones, muestra el libro de órdenes -se puede observar el par de órdenes compra/venta del creador del mercado- y el histórico de casaciones en el sistema.



The screenshot shows a window titled "EXCHANGE: ex" with three main sections: "ORDENES DE VENTA", "ORDENES DE COMPRA", and "HISTORICO DE CASACIONES".

ORDENES DE VENTA

| IdOrden | IdAgente | Volumen | Precio | Tipo |
|---------|----------|---------|--------|------|
| 745 | cm | 1000 | 5,212 | LIM |

ORDENES DE COMPRA


| IdOrden | IdAgente | Volumen | Precio | Tipo |
|---------|----------|---------|--------|------|
| 744 | cm | 1000 | 5,108 | LIM |

HISTORICO DE CASACIONES

| IdComprador | IdVendedor | Volumen | Precio |
|-------------|------------|---------|--------|
| cm | inu1 | 50 | 5,128 |
| cm | inu8 | 50 | 5,128 |
| inu5 | cm | 2 | 5,232 |
| cm | inu3 | 35 | 5,128 |
| cm | inu2 | 50 | 5,128 |
| cm | int2 | 20 | 5,237 |
| cm | int2 | 20 | 5,455 |
| cm | int3 | 20 | 5,455 |
| inu1 | cm | 1 | 5,676 |
| inu8 | cm | 12 | 5,676 |

Figura 40. GUI Agente Exchange.

Los agentes inversores comparten una interfaz sencilla que muestra: su saldo, sus unidades -entendiendo por unidades el número de acciones en propiedad-, sus órdenes activas -en blanco ya que son todas market y son casadas al instante- y su histórico de casaciones.



The screenshot shows a window titled "INVERSOR FUNDAMENTAL: inf1" with four main sections: "SALDO", "UNIDADES", "ORDENES ACTIVAS", and "HISTORICO".

SALDO

96.6299999999999906

UNIDADES

260

ORDENES ACTIVAS

| CompraOVenta | Volumen | Precio | Tipo |
|--------------|---------|--------|------|
| | | | |

HISTORICO

| Comprador | Vendedor | Volumen | Precio |
|-----------|----------|---------|--------|
| inf1 | cm | 20 | 7,272 |
| cm | inf1 | 20 | 7,425 |
| inf1 | cm | 20 | 6,595 |
| cm | inf1 | 20 | 6,465 |
| inf1 | cm | 20 | 6,999 |

Figura 41. GUI Agente Inversor.

El agente creador de mercado tiene un interfaz similar al del agente inversor que además muestra un histórico de los últimos 180 segundos de su inventario, interesante de analizar si se tiene en cuenta el control de inventario. En este caso se puede observar que sí hay órdenes activas y el volumen que queda por casar de las mismas.

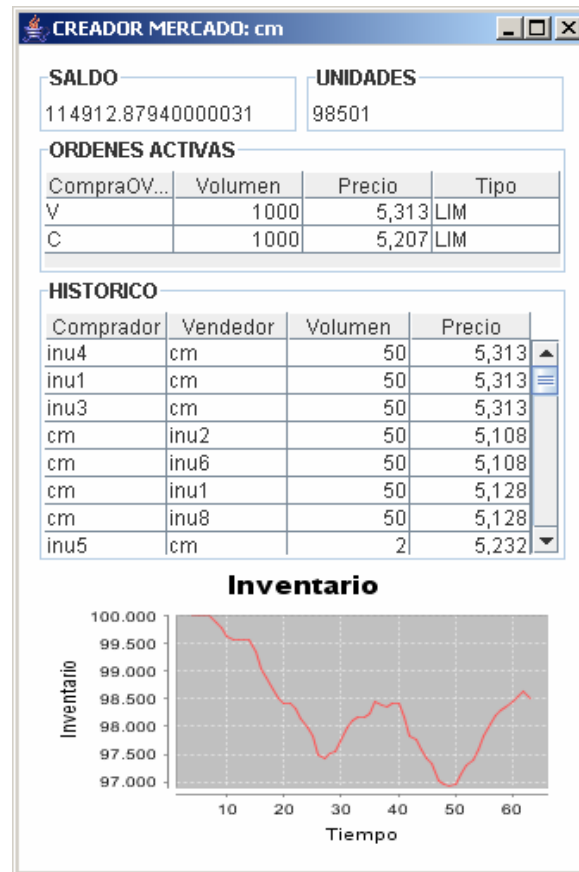


Figura 42. GUI Agente Creador de Mercado.

6

PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO

6 PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO

6.1 Planificación del Proyecto

El proyecto ha sido llevado a cabo en un periodo 12 meses, de julio de 2005 a junio de 2006. A lo largo de este periodo de tiempo se han desarrollado distintas actividades.

6.1.1 Estructura de Actividades

Las actividades a realizadas para llevar a cabo el proyecto se muestran en el siguiente EDT, Figura 43. Estructura el conjunto del proyecto en cuatro grandes grupos: Gestión; Estudio y Modelado; Desarrollo e Implementación; y Documentación.

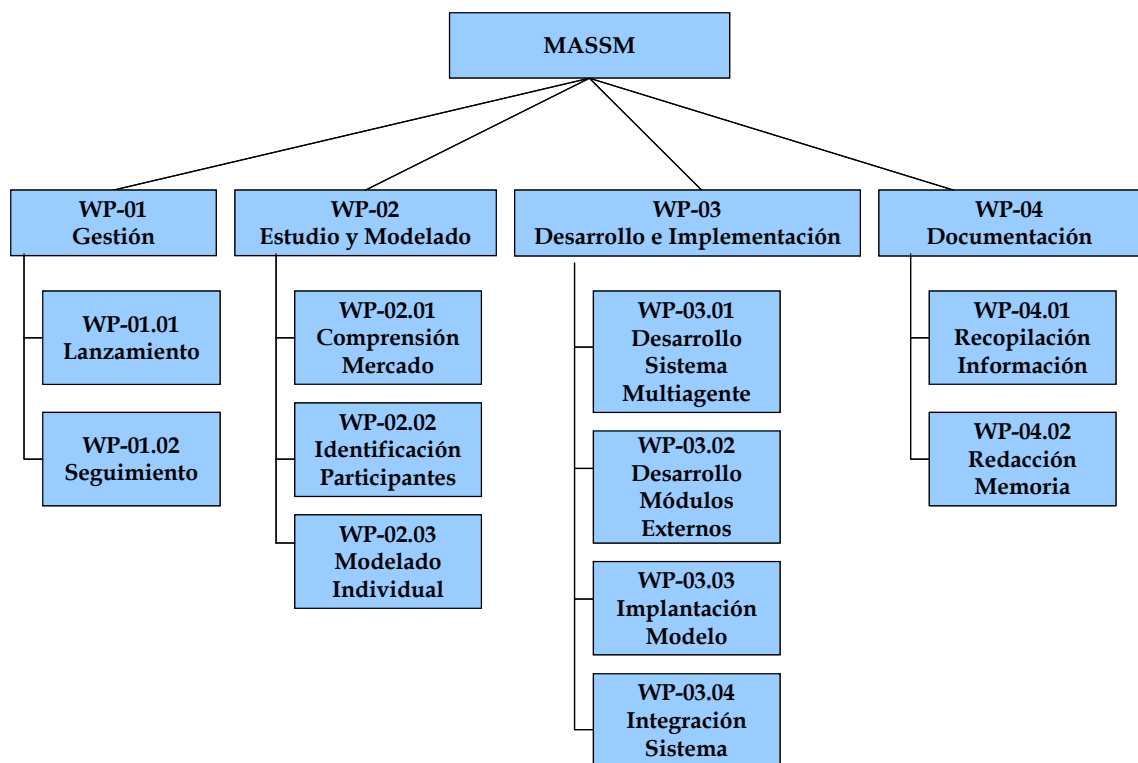


Figura 43. EDT del proyecto.

6.1.2 Estimación

La estimación del número de horas dedicadas al proyecto en función de la actividad es la siguiente.

| | horas |
|-----------------------------------|------------|
| WP-01 Gestión | 60 |
| WP-02 Estudio y Modelado | 160 |
| WP-03 Desarrollo e Implementación | 260 |
| WP-04 Documentación | 80 |
| TOTAL | 560 |

Tabla 7. Estimación de horas.

La distribución del número de horas a lo largo de los 12 meses ha sido generalmente homogénea. Durante los meses de julio, agosto, febrero y junio el número de horas semanales ha sido 5. Lo que asciende a unas 20 horas mensuales. En los meses restantes el ritmo ha sido de 15 horas a la semana, que suman aproximadamente 60 horas al mes.

6.1.3 Planificación temporal

Distribuidas a lo largo de los 12 meses, estas actividades en función de las horas han sido desarrolladas en los siguientes periodos de tiempo.

| | 2005 | | | | | | 2006 | | | | | |
|---------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | jul | ago | sep | oct | nov | dic | ene | feb | mar | abr | may | jun |
| WP-01 Gestión | | | | | | | | | | | | |
| WP-02 Estudio y Modelado | | | | | | | | | | | | |
| WP-03 Desarrollo e Implantación | | | | | | | | | | | | |
| WP-04 Documentación | | | | | | | | | | | | |

Figura 44. Planificación temporal.

La gestión acompaña a todo el proyecto mientras que los 3 paquetes restantes se trabajan secuencialmente.

6.2 Presupuesto

La totalidad del proyecto ha sido desarrollada con herramientas de libre utilización –según ha sido explicado en Punto 4.4.1– y en un único PC de usuario. Por lo que el coste del proyecto asciende únicamente a la tarifa de los trabajadores por el número de horas.

El proyecto ha sido desarrollado por un único investigador trabajando 560 horas en 12 meses. En base a un coste para la empresa de 30 € la hora, en el que se incluyen impuestos y seguridad social, el presupuesto del proyecto es de 16.800 €.

$$30 \text{ €/hora} \cdot 560 \text{ horas} = 16.800 \text{ euros}$$

Ecuación 11. Presupuesto del proyecto.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 Integración del sistema

El primer hecho patente en el sistema es la integración de todos sus agentes en un sistema multiagente. Esto se hace especialmente palpable en sus procesos de negociación, cooperación y coordinación cuando hacen uso de su aptitud social.

Esta comunicación deriva del movimiento de acciones. Se puede observar como el volumen de casaciones varía en el tiempo y las acciones pasan de unas manos a otras constantemente, involucrando a todos los agentes.

A su vez, este flujo de órdenes induce un movimiento en el precio, tanto en el modelo puramente reactivo del creador de mercado como en el modelo reactivo y proactivo. Un precio que presenta patrones interesantes y reconocidos por analistas en precios reales, como será analizado en el Punto 7.5.

Este agente creador de mercado dispone de dos modelos, ambos eficaces y que producen resultados positivos. Concretamente el modelo reactivo, en una simulación estándar, genera los resultados siguientes, Figura 45.

Se puede observar la correlación existente entre el precio -ventana agencia de noticias- y la desviación de inventario -ventana creador de mercado-. El precio resultante es claramente cíclico y se produce cada dos ciclos y medio del valor fundamental.

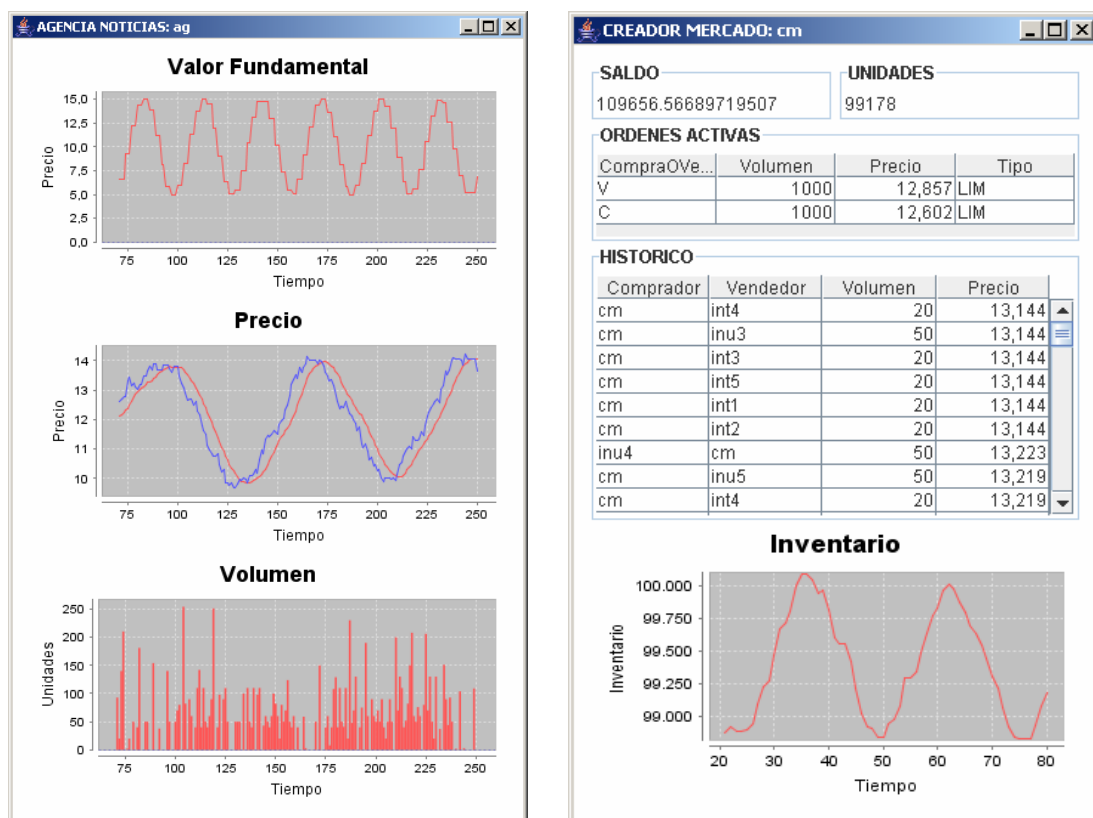


Figura 45. Resultados de simulación con modelo reactivo.

La obtención de los resultados restantes ha sido realizada con el modelo reactivo y proactivo del agente creador de mercado, ya que amplía el horizonte de estudio. Lo que no quita que ambos modelos generen resultados similares en áreas comunes.

Gran parte de los resultados obtenidos son debidos a la integración de los gráficos JFreeChart y al servicio de estadísticas del sistema. Ambos son herramientas utilizadas en los resultados venideros.

7.2 Estadísticas de actuación

Es especialmente interesante observar como hay inversores que ganan, otros que pierden y algunos que se mantienen, todo ello independiente del modelo seguido y habiendo participado en el mercado durante el mismo periodo de tiempo.

Con ánimo de profundizar en este aspecto se van a realizar una serie de simulaciones y estadísticas por participante para medir su actuación media en el mercado. Un concepto que en este caso es especialmente importante y que ya se definió en el Capítulo 3 es el juego de suma cero. MASSM como tal es un juego de suma cero, pues todos los beneficios que genere un agente serán a costa de la suma de pérdidas del resto de agentes.

A continuación se muestran los resultados de actuación por tipo de agente participante en tres simulaciones representativas del sistema. El total de agentes participantes en cada una de las simulaciones ha sido de 21:

- 1 creador de mercado
- 10 inversores utilitarios
- 5 inversores fundamentales
- 5 inversores técnicos

El porcentaje de distribución del número de participantes por tipo de agente ha sido determinado en el estudio de modelo realizado en el segundo punto del Capítulo 4.

El precio de partida del mercado en el instante 1 es de 10 euros. Si bien este es el precio inicial, se puede observar que la evolución del mismo en cada simulación es distinta ya que en la primera el precio medio por casación es de 10'57 €, en la segunda de 20'07 € y en la tercera de 6'43 €.

Una manera sencilla de saber qué participantes están venciendo al mercado y cuales están perdiendo ante el mismo es observar su precio medio de venta frente a su precio medio de compra. Si el agente vende más caro de lo que compra está ganando dinero, en caso contrario esta perdiendo.

| SIMULACIÓN 1 | Ganan | Mantienen | Pierden |
|----------------------|-------|-----------|---------|
| Creador de Mercado | | 100% | |
| Inversor Utilitario | 20% | 30% | 50% |
| Inversor Fundamental | 80% | 20% | |
| Inversor Técnico | 60% | 20% | 20% |

Tabla 8. Simulación 1 con un precio medio de casación de 10'57 €.

| SIMULACIÓN 2 | Ganan | Mantienen | Pierden |
|----------------------|-------|-----------|---------|
| Creador de Mercado | 100% | | |
| Inversor Utilitario | 10% | 20% | 70% |
| Inversor Fundamental | 50% | 30% | 20% |
| Inversor Técnico | 80% | 20% | |

Tabla 9. Simulación 2 con un precio medio de casación de 20'07 €.

| SIMULACIÓN 3 | Ganan | Mantienen | Pierden |
|----------------------|-------|-----------|---------|
| Creador de Mercado | 100% | | |
| Inversor Utilitario | 10% | 30% | 60% |
| Inversor Fundamental | 40% | 40% | 20% |
| Inversor Técnico | 20% | 20% | 60% |

Tabla 10. Simulación 3 con un precio medio de casación de 6'43 €.

Si se integran los resultados de las tres estadísticas en una tabla de actuación media por agente se obtienen los siguientes resultados.

| ACTUACIÓN MEDIA | Ganan | Mantienen | Pierden |
|----------------------|-------|-----------|---------|
| Creador de Mercado | 66% | 34% | |
| Inversor Utilitario | 14% | 26% | 60% |
| Inversor Fundamental | 56% | 30% | 14% |
| Inversor Técnico | 54% | 20% | 26% |

Tabla 11. Estadísticas de actuación media por participante.

El agente creador de mercado es el gran vencedor. En la mayoría de sus actuaciones gana indiscutiblemente, aunque no quita que sufra complicaciones en situaciones en las que únicamente consigue mantener su activo inicial. Este resultado refleja la realidad en la medida en que el creador de mercado se enriquece contundentemente, aunque ello le suponga periodos de mayor riesgo en los que le resulte difícil mantener esa ventaja competitiva.

En el lado opuesto se encuentra el agente inversor utilitario o la denominada masa. En muchos casos son la fuente de financiación del mercado y las empresas que salen a bolsa. El 60% de agentes que pierden evidencian la dificultad para obtener beneficios en el mercado con escasos conocimientos y dedicación. Como será probado más adelante, estos inversores son la piedra angular del sistema MASSM y del mercado

financiero, que atienden al concepto de juego de suma cero; este tipo de inversores son los que generalmente pierden para que otros participantes puedan ganar.

Juntos, estadísticamente hablando, se encuentran el agente inversor fundamental y el agente inversor técnico. Ambos ganan aproximadamente el mismo número de veces que se mantienen o pierden.

7.3 Creador de Mercado y Control Adaptativo Digital

La integración del control adaptativo digital en el agente inteligente ha sido posible. GAMS y Java interactúan en un proceso conjunto cada intervalo de 1 segundo y lo llevan a buen cauce en el periodo de tiempo exigido. El agente creador de mercado toma su decisión reactiva y proactiva en base a su capacidad de controlar de manera adaptativa y predictiva el mercado.

El control adaptativo del agente tiene que cumplir con dos objetivos:

- Control de inventario
- Optimización del beneficio

Como se acaba de demostrar en el punto anterior, el agente creador de mercado culmina con éxito su primer objetivo generando beneficios, en ocasiones mayores y en otras nulos, pero sin incurrir en pérdidas.

Se ha de analizar ahora lo sucedido con su segundo objetivo, controlar el desvío de inventario de su punto de equilibrio. A continuación se muestra una gráfica de evolución de inventario durante un periodo de 145 segundos, Figura 46.

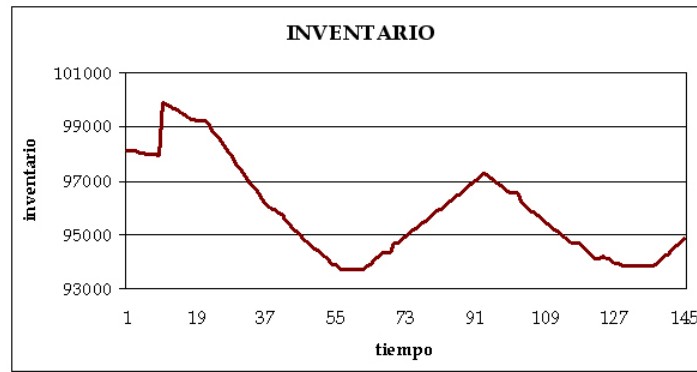


Figura 46. Gráfico de inventario MASSM.

Se puede observar como el inventario aumenta y disminuye constantemente oscilando entorno a una franja de 4000 unidades. La capacidad de movimiento de acciones de los inversores participantes en esa simulación, por la naturaleza de la misma, asciende a un total de 8000 unidades aproximadamente, lo que sería exactamente el doble de lo que el creador de mercado esta *permitiendo*.

La forma que el agente tiene de inducir la compra o venta por parte de los inversores para controlar su inventario es subiendo o bajando el precio. La evolución del precio en el mismo periodo de tiempo es la siguiente, Figura 47.



Figura 47. Gráfico de precio MASSM.

En este caso, el precio muestra dos tendencias alcistas, una bajista y una resistencia en los 6 €. Si se analiza gráficamente, dicha correlación no existe entre el inventario y el precio tal y como se muestra en la Figura 48.

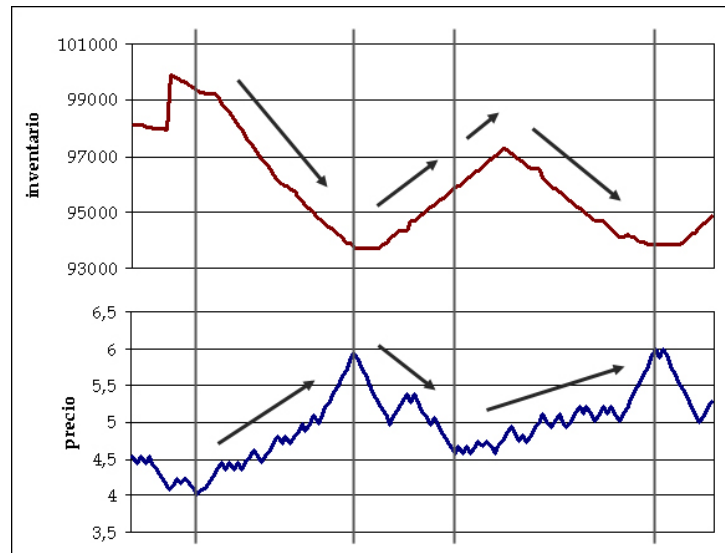


Figura 48. Análisis gráfico entre inventario y precio.

En la prolongación de una misma tendencia alcista del precio, la desviación de inventario descende para luego volver a ascender.

En cambio, si se cruzan los datos de inventario y precio obtenidos a lo largo de esos 145 segundos en un mismo gráfico de dispersión, el agente creador de mercado sí parece haber encontrado una relación entre el precio y el inventario, Figura 49.

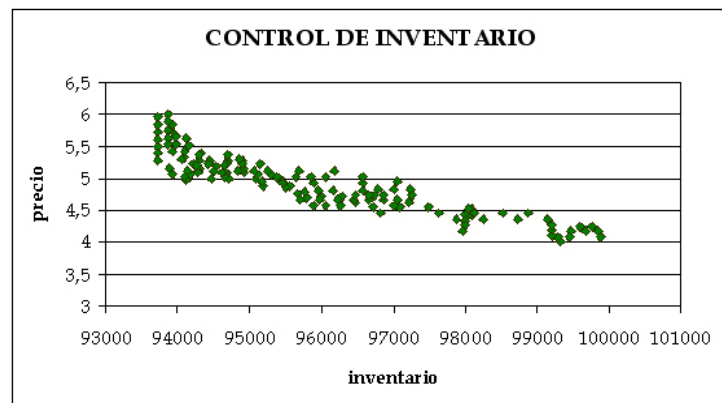


Figura 49. Gráfico de control de inventario MASSM.

Conjunto de datos que se acerca a una ecuación del tipo:

$$Y = a \cdot X + b$$

Ecuación 12. Ecuación de control de inventario MASSM.

Recuerda la justificación de existencia del control de inventario, Punto 4.2, obtenida de la literatura financiera en la que Ananth Madhavan representaba el control de inventario en base a la gráfica mostrada en la Figura 21 e incorporada de nuevo a continuación.



Figura 21. Precio y desviación de inventario.

El control adaptativo digital resuelve el problema no lineal presente en la realidad en base a una representación matemática lineal de orden 1 –ver Ecuación 7 y Ecuación 8–.

7.4 Necesidad de participación de todos los Agentes

El sistema ha sido desarrollado en base a un modelo inicial de seis agentes distintos, Figura 20. La existencia de dos de ellos, agencia de noticias y exchange, está justificada por los requisitos del mercado financiero. Pero cabe analizar la exigencia del conjunto de participantes con el que se han obtenido los resultados mencionados.

El primero, el creador de mercado, es el agente que aporta toda la liquidez al mercado, con su consiguiente riesgo. Existen mercados, tipo el NYSE, donde todas las casaciones pasan por el creador de mercado; la ausencia de este agente en el mercado implicaría liquidez nula y, por lo tanto, no habría mercado.

El inversor fundamental se guía por el valor fundamental, en cierto modo acerca el precio a este valor fundamental. Este inversor otorga al precio el movimiento inicial pues se guía por la evolución de su valor fundamental –el inversor técnico necesita del

movimiento del precio ya que cree que toda la información relevante está contenida en el propio precio y el inversor utilitario se guía en parte por la actuación del resto de los inversores-.

Ha quedado probado que la existencia única de los inversores fundamentales junto al creador de mercado supondría para este último la imposibilidad de ganar y terminaría por arruinarse -el precio medio de venta en una simulación ejemplo es de 10'49 € y el de compra de 10'62 €-. Curiosamente, la correlación entre el precio y el inventario no se acerca a los resultados descritos en el punto anterior. A su vez, el precio se vuelve cíclico -en función del valor fundamental-.

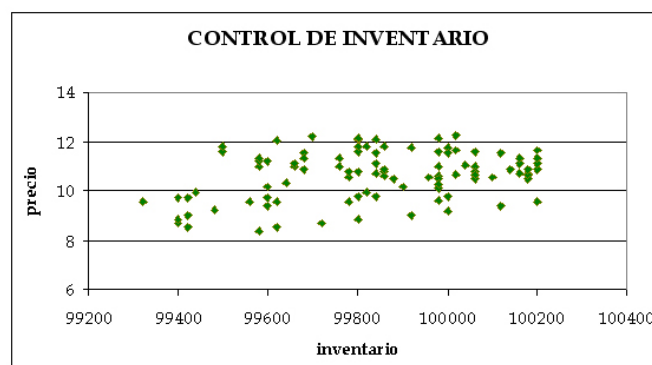


Figura 50. Gráfico control de inventario con inversores fundamentales.

Probada la insuficiencia del inversor fundamental como único inversor y, al mismo tiempo, la necesidad de que sea inversor, se analiza ahora la conjunción del inversor fundamental y el inversor técnico. En este caso, actuando juntos, el precio sí muestra su atractivo en patrones y tendencias; y la correlación entre precio e inventario es la adecuada. Aun así, al creador de mercado le sigue resultando imposible alcanzar un margen de beneficios ya que, aunque hay un número de estos inversores que pierden, son más los que ganan y se trata de un juego de suma cero.

Por ello queda justificada en última instancia la existencia del inversor utilitario. Su presencia es la de un mero financiador de empresas e inversores, que permite alcanzar sus objetivos al creador de mercado y a aquellos inversores ávidos de beneficios. En la actualidad, son muchos los expertos que comparten esta opinión [HARR02].

7.5 El Precio

Entre los objetivos del presente proyecto está la representación gráfica temporal del precio. Pues bien, la integración del modelo descrito en un sistema multiagente ha dado lugar, junto con el resto de resultados, a un precio cuanto menos curioso.

En las siguientes figuras se pueden observar patrones en el precio utilizados por analistas técnicos o especuladores para tomar sus decisiones de inversión. La Figura 51 muestra la formación de un soporte y de una resistencia. La Figura 52 describe una tendencia alcista con tres puntos de apoyo.

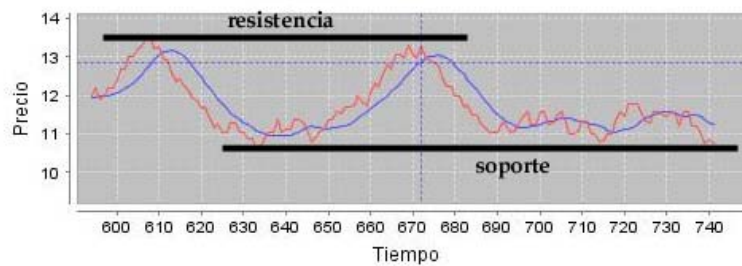


Figura 51. Resistencia y soporte en el precio.

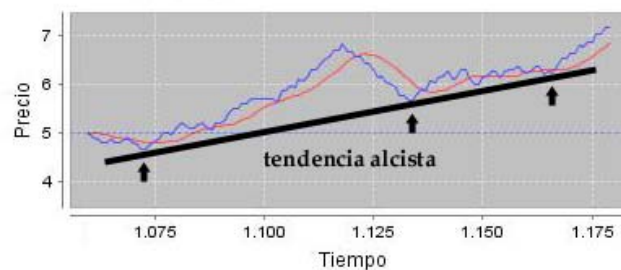


Figura 52. Tendencia alcista en el precio.

Cada simulación da lugar –al igual que con ganadores y perdedores– a un precio distinto, una evolución distinta y unos patrones distintos. En ocasiones, representando la parte impulsiva de las Ondas de Elliott y en otras los Retrocesos Fibonacci.

Los Retrocesos Fibonacci son en la medida de los números Fibonacci. Los números Fibonacci, también conocidos como números aureos, se encuentran en muchos elementos de la naturaleza, entre los que están los mercados financieros. Los números de la serie Fibonacci más aplicados al análisis técnico son 0'382 y 0'618.

Analizando la Figura 53, si se mide el incremento de la tendencia alcista desde la resistencia hasta el soporte, que suma 3'1 €, y se multiplica por 0'382 el resultado es 1'184; número muy próximo a los 1'2 € de retroceso siguientes a la subida.

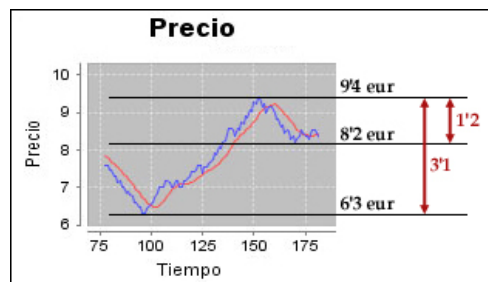


Figura 53. Retroceso Fibonacci MASSM.

Llegados a este punto se le quiere pedir al lector que participe en el apartado de la página siguiente.

7.5.1 MASSM vs. New York SE

A continuación se muestran dos gráficos: uno de ellos ha sido descrito por MASSM en una simulación estándar; el otro es un gráfico diario del New York SE, concretamente de Alcoa Inc entre octubre de 2005 y abril de 2006.

¿Cuál de ambos cree el lector que ha sido generado por MASSM?⁴

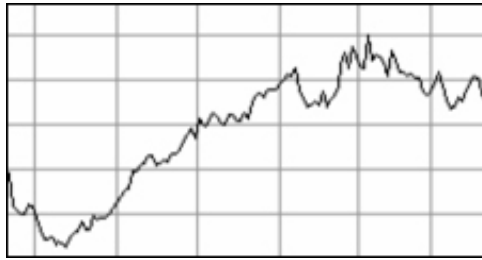


Figura 54. Grafico uno.

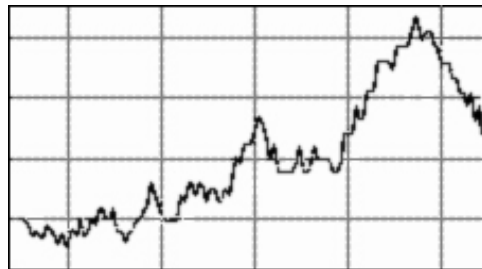


Figura 55. Grafico dos.

⁴El gráfico generado por MASSM es el dos.

8

CONCLUSIONES

8 CONCLUSIONES

8.1 Integración del Mercado Financiero y un Sistema Multiagente

Las sinergias entre un Mercado Financiero y un Sistema Multiagente son tales que ambos se han podido integrar eficazmente en un único sistema. Justificadas desde un principio las razones que pueden llevar a pensar en dicha unión, se recapitulan a continuación en base a los hechos probados en el proyecto:

- Dotación a los agentes de aptitud social e integración en su totalidad de un mercado en el que son capaces de negociar valores y cooperar con información.
- Identificación de cada agente con un tipo de participante. Posibilita la convivencia de muchos agentes procedentes del mismo tipo de participante pero que actúan y se consuman de manera distinta. Da lugar a un sistema diverso e indeterminista.
- Consecuencias de la interacción social probada y aplicable en el día a día, como pueden ser: patrones en el precio, complejidad del agente modelado y sus consiguientes resultados o juego de suma cero.
- Sistema multiagente como plataforma de negociación entre participantes dispares, con objetivos dispares y en búsqueda de la maximización individual del beneficio. La subasta como herramienta de negociación por medio de continuous double auctions, órdenes financieras.
- Capacidad de escalabilidad del mercado a mayores dimensiones hasta el punto de exigir una evolución del mismo a un sistema distribuido, consecuencia de la flexibilidad de los sistemas multiagente.

8.2 JADE como herramienta de Gestión y Desarrollo

JADE, en su definición de Agent Toolkit –herramienta para el desarrollo y gestión de sistemas multiagente–, ha cumplido satisfactoriamente con todos los requisitos.

Desde el punto de vista del desarrollo JADE provee de un marco completo para la implementación de agentes inteligentes complejos de manera estructurada, rápida y sencilla. La definición del agente en base a behaviour's facilita tanto su desarrollo como mantenimiento y actualización. Ofrece al investigador la oportunidad de centrarse exclusivamente en el modelo del agente.

En lo referente a la comunicación entre agentes la plataforma provee de: el Directory Facilitator accesible por medio de cinco líneas de código; los AID, identificadores unívocos de cada agente; y estructuras para el desarrollo de ontologías, que hacen realidad la comunicación de conceptos o ideas complejas. La gestión de dichas comunicaciones a bajo nivel es llevada a cabo en su totalidad por JADE.

En lo referente a la gestión de un sistema multiagente priman la poca sobrecarga de la CPU y el poco uso de la memoria RAM. Tiene la opción de ejecutar el número de agentes deseado, en el momento adecuado y durante el periodo de tiempo conveniente.

A su vez, provee de la infraestructura necesaria para escalar el sistema desarrollado a un sistema distribuido entre múltiples máquinas y con múltiples gestores. Hace de cualquier sistema una herramienta flexible.

En su condición de producto de libre distribución y orientado a un desarrollo entero en Java puede calificarse como la herramienta adecuada para su uso en el entorno académico. Con la disponibilidad de múltiples manuales de TILab y documentación variada en Internet.

8.3 Modelado del mercado

Gran parte de los resultados de este proyecto se basan en el modelo. En cierto modo se puede afirmar que ha sido posible realizar un modelo que se acerque a la realidad de un mercado financiero.

Ha sido viable haciendo uso de un conjunto de reglas sencillas pero lo suficientemente dispares como para crear un entorno diverso que se asemeje a un entorno social.

Un número reducido de participantes –cuatro– capaces de inducir flujos de órdenes variables en el tiempo, mover el precio y constituirse vencedores o perdedores del mercado.

8.4 Control Adaptativo Digital regidor del Comportamiento

El comportamiento propio de un agente inteligente, es decir, su autonomía representada por su reactividad, proactividad y aptitud social, es implantada en uno de los agentes por medio de un controlador adaptativo digital.

Los resultados obtenidos hacen de esta herramienta un instrumento destacado para la consecución de este objetivo. Su naturaleza de agente inteligente la dota de las siguientes capacidades:

- Modelado de la realidad no lineal. La transforma en un modelo lineal, capaz de procesar en el tiempo suficiente para ser útil.
- Ejercer un control sobre distintos puntos de operación del entorno, es decir, es capaz de adaptarse a los cambios sucedidos en el mismo.
- Mantener un recuerdo graduable del pasado. En la evaluación de una situación el agente puede tener en cuenta los hechos pasados y las decisiones tomadas; le permiten evaluar su actuación y, por lo tanto, aprender en base a su experiencia.

- Planificar el futuro. Decide cómo actuar en base a la influencia que tendrá su decisión sobre el entorno, ya sea a corto, medio o largo plazo.

Todo ello supone dotar al agente de autonomía. Desde el punto de vista de la teoría de agentes es: capaz de modelar el entorno y razonarlo en el tiempo suficiente para ser útil; tomar decisiones reactivas y proactivas en función de distintos objetivos; aprender en base a la experiencia; y adaptarse a los cambios en el entorno. Se puede definir como una arquitectura híbrida.

El Control Adaptativo Digital y la estructura de behaviour's de JADE permiten al investigador implantar distintos controladores adaptativos sobre distintos behaviour's y abarcar la consecución de variados objetivos en entornos muy dinámicos e indeterminados.

8.5 Requisitos Técnicos

La integración en una misma aplicación de un sistema multiagente, un modelo del mercado financiero, un conjunto de agentes, un controlador adaptativo digital y una serie de gráficos refrescados en tiempo real ha sido llevada a cabo desde un entorno académico y en un ordenador de capacidad media; todo ello sin coste alguno.

Prácticamente todas las herramientas software utilizadas en el desarrollo del proyecto y en su ejecución están disponibles gratuitamente en la red. El sistema se levanta sobre la plataforma J2SE que lo hace independiente del sistema operativo.

Los requerimientos de hardware exigidos para la realización de una simulación estándar son abarcables por cualquier ordenador disponible hoy en día y su desarrollo exige, en cualquier caso, menos capacidad.

8.6 FUTUROS DESARROLLOS

El presente proyecto comporta un primer paso en los sistemas multiagente de la mano del mercado financiero. El sistema, hasta donde ha sido desarrollado y cómo ha

sido estructurado, se convierte en una plataforma sólida para iniciar nuevas investigaciones hacia nuevos horizontes.

Gracias a la flexibilidad y escalabilidad de un entorno multiagente se puede reciclar la totalidad de la plataforma desarrollada e introducir nuevos agentes, sustituir otros o actualizar funcionalidades.

A continuación se enumeran una serie de iniciativas que, tras el seguimiento del proyecto, pudieran ser las más interesantes.

8.6.1 Nuevos inversores

La inclusión de nuevos agentes inversores implicaría una mayor diversidad en el mercado. Agentes autónomos guiados por reglas complejas o alguna herramienta como la utilizada en este proyecto que permitiese la implantación de comportamientos sofisticados, como por ejemplo la aportación de liquidez al mercado.

Otra perspectiva sería la de que el agente no fuese ni inteligente ni autónomo: el desarrollo de un nuevo agente a modo de interfaz entre el sistema y el usuario a modo experimental. Se involucraría de esta manera al usuario en el sistema que, cual agente común entre los existentes, podría comprar o vender acciones a su parecer en la consecución del mismo objetivo: maximizar su beneficio.

8.6.2 Libre competencia de creadores de mercado

Este mercado ha sido desarrollado con un único creador de mercado, intermediario de todas las casaciones, siguiendo fielmente el modelo del New York SE. Pero existen otros mercados, como el ya mencionado NASDAQ, en el que existe libre competencia entre creadores de mercado. Son mercados carentes de legislación pero que resultan eficaces por las implicaciones de la libre competencia.

El desarrollo de una serie de creadores de mercado, regidos por reglas distintas, que trabajen por el control del mercado plantea un reto interesante, tanto por la complejidad del desarrollo como por los resultados obtenibles.

8.6.3 Entorno para el desarrollo experimental

MASSM es en parte una plataforma de desarrollo. Se podría convertir en un entorno avanzado de desarrollo de agentes inversores y ejecución de sistema orientado a abrir la participación a múltiples personas a través de Internet.

Orientado al entorno académico, permitiría a los alumnos el desarrollo de agentes de manera individual con el fin de aprender acerca de sistemas multiagente bajo el reto de hacer el suyo el vencedor entre los participantes del sistema.

9

BIBLIOGRAFÍA

9 BIBLIOGRAFÍA

- [BJON03] Geir Hoidal Bjornnes y Dagfinn Rime, "Dealer Behaviour and Trading Systems in Foreign Exchange Markets", Stockholm Institute for Financial Research, Noviembre 2003.
- [CAIR03] Giovanni Caire, "JADE Programming for Beginners", TILab, Diciembre 2003.
- [COPE00] Tom Copeland, Tim Koller y Jack Murrin, "Valuation - Measuring and Managing the Value of Companies", McKinsey & Company Inc, 3^o edición 2000.
- [EVAN99] Martin D. Evans y Richard K. Lyons, "Order Flow and Exchange Rate Dynamics", Research Program in Finance Working Papers, University of California , Berkely 1999.
- [GILB04] David Gilbert, "The JFreeChart Class Library", Object Refinery Limited, Abril 2004.
- [HARR02] Larry Harris, "Trading and Exchanges: Market Microstructure for Practitioners", Oxford University Press, Octubre 2002.
- [HASB03] Joel Hasbrouck, "Economic and Statistical Perspective on the Dynamics of Trade in Security Markets", New York Univesity, 2003.
- [HEAK02] Reen Heakal, "What is Market Efficiency?", Investopedia.com, Octubre 2002.
- [LOPE06] Eduardo López Gonzalo, "Observaciones sobre el comportamiento de los mercados. Ejemplo del futuro sobre el IBEX-35", Universidad Politécnica de Madrid, 2006.
- [LUCK04] Michael Luck, Ronald Ashri y Mark d'Inverno. "Agent-Based Software Development", Artech House Publishers, Febrero 2004.
- [MADH02] Ananth Madhavan, "Market Microstructure: A Practitioner's Guide", AIMR, Nueva York Octubre2002.

- [PAGO02] F. Luis Pagola, "Regulación Automática", Universidad Pontifica de Comillas, ETS de Ingeniería (ICAI), Septiembre 2002.
- [PERE02] M. Chantal Pérez Hernández, "Explotación de los corpórea textuales informatizados para la creación de bases de datos terminológicas basadas en el conocimiento", Universidad de Málaga, 2002.
- [RODR96] Francisco Rodríguez Rubio y Manuel Jesús López Sanchez, "Control Adaptativo y Robusto", Universidad de Sevilla, 1996.
- [ROLL99] Leo Rollins, "Robust Control Theory", Carnegie Mellon University, 1999.
- [SAEZ02] Antonio Sáez del Castillo, "El Principio Universal del Módulo de Elliott", Gesmovasa, 2002.
- [SHIL00] Robert J. Shiller, "Irrational Exuberance", Princenton University Press, 2000.
- [STEV70] Richard A. Stevenson, Robert M. Bear, "Commodity Futures: Trends or Random Walks?", Journal of Finance, Marzo 1970.
- [TUNG01] Nicholas Tung Chan y Christian Shelton, "An Electronic Market-Maker", Massachusetts Institute of Technology, Abril 2001.
- [VAUC03] Jean Vaucher y Ambroise Ncho, "JADE Tutorial and Primer", Université de Montréal, Septiembre 2003.
- [WEIN92] Stan Weinstein, "Secrets for Profiting in Bull and Bear Markets", McGraw-Hill, Enero 1992.
- [WEST03] Frank H. Westerhoff, "Market-maker, inventory control and foreign exchange dynamics", University of Osnabrueck, Junio 2003.
- [WOOL02] Michael Wooldridge, "An Introduction to MultiAgent Systems", John Wiley and Sons, Ltd, Agosto 2002.

Anexos

A

MANUAL DE USUARIO

A MANUAL DE USUARIO

El sistema desarrollado, en base a su estructura de sistema multiagente y posibilidad de configuración XML, permite al usuario parametrizar en cada simulación los principales atributos de cada agente y ejecutarla con el número de ellos que desee.

A.1 Instalación del Sistema

A.1.1 Requisitos del Ordenador

La ejecución del sistema es independiente del sistema operativo y plataforma hardware. No obstante, ha sido desarrollado en Java sobre las plataformas J2SE 5.0 y JADE 3.0. Ambas deben estar instaladas y referenciadas en las variables del sistema correspondientes. A su vez, para la visualización de gráficos en tiempo real es necesario incluir las librerías JFreeChart 1.0. Todas estas herramientas están disponiblea gratuitamente en Internet como ha sido descrito en el Punto 4.4.1.

A.1.2 Extracción de los Ficheros

La totalidad de la carpeta «massm» y todo su contenido debe ser copiado donde sea conveniente, por ejemplo en la dirección C:\PFC\massm. El árbol de contenido, en tal caso, tiene que tener la forma mostrada en la Figura 56.

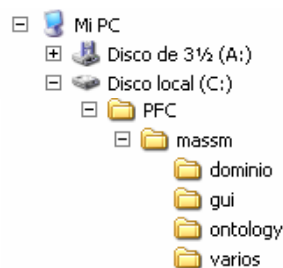


Figura 56. Árbol de carpetas.

A.2 Ejecución del Sistema

A continuación se explican el arranque de la plataforma, la ejecución individual de cada agente y su posibilidad de configuración.

A.2.1 Configuración de Parámetros

El sistema permite el ajuste de determinados parámetros que influyen en el comportamiento individual de los agentes. Estos son fácilmente ajustables al estar contenidos en un fichero de configuración XML. La locación de dicho fichero es C:\PFC\config.xml.

Se puede abrir el fichero con un editor de texto y modificar aquellos deseados. Utilizando el Microsoft WordPad 5.1 se observa una pantalla del tipo de la Figura 57.

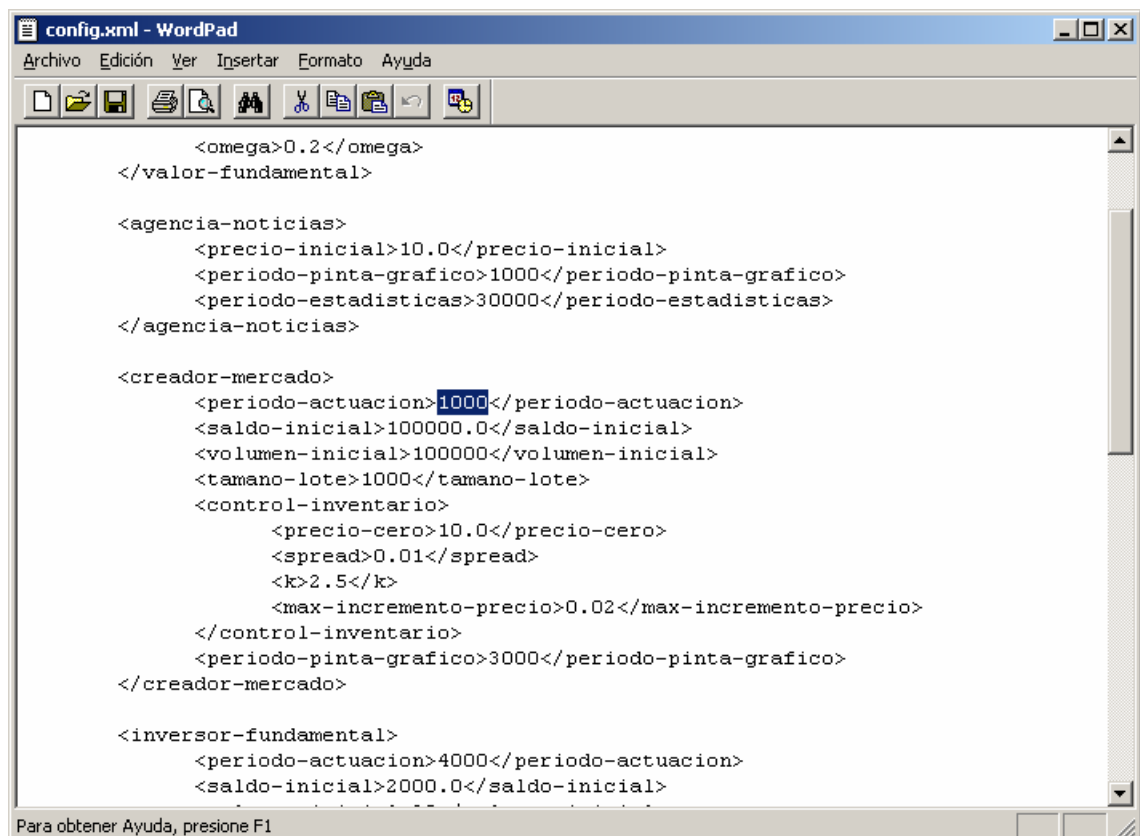


Figura 57. Parametrización de los agentes.

A.2.2 Arranque de la Plataforma JADE

La plataforma JADE es arrancada con el arranque de su contenedor principal –el concepto de contenedor es explicado en el Capítulo 5–. El arranque de este contenedor principal está a su vez ligado a la ejecución del primer agente.

Por las características de un mercado financiero y, por lo tanto, del modelo del presente sistema, existen dos agentes necesarios en todas las simulaciones. Son el agente agencia de noticias y el agente exchange.

Se arranca entonces la plataforma JADE al mismo tiempo que se ejecuta uno de los dos, concretamente la agencia de noticias por exigencias del Directory Facilitator. Basta con introducir una única instrucción en la ventana de comandos de MS-DOS –en caso de estar bajo el sistema operativo Windows–. El comando es el siguiente, según se muestra en la Figura 58.

- C:\PFC\java jade.Boot ag:massm.AgenciaNoticias

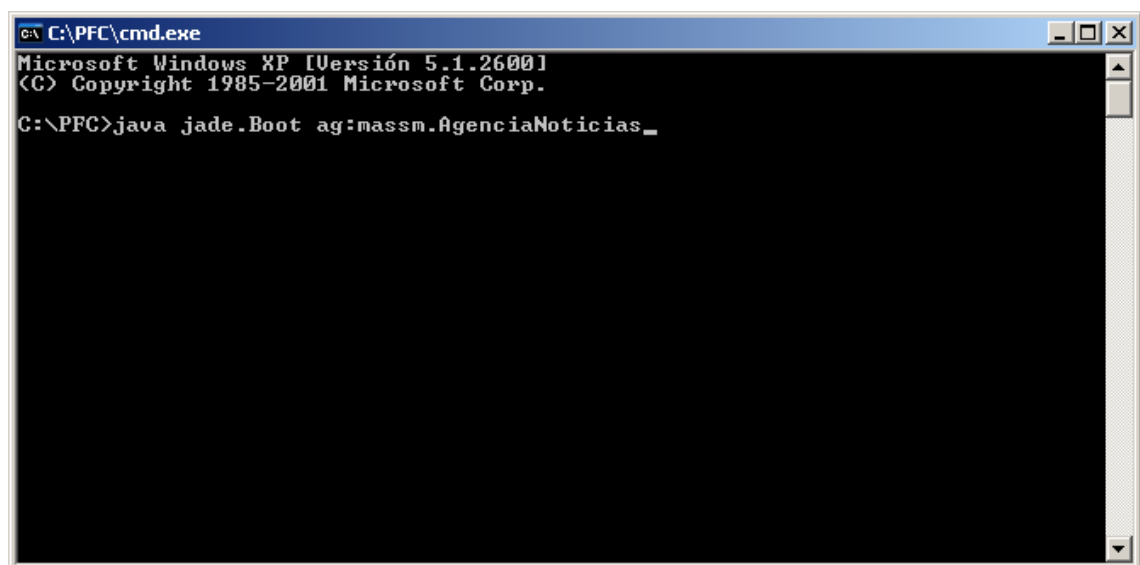


Figura 58. Ejecución plataforma JADE.

Dado que ya ha sido ejecutado el contenedor principal, el resto de agentes se ejecutarán sobre dicho contenedor. Para ello basta con añadir el parámetro «-container» al comando. El exchange se ejecuta de la forma siguiente:

- C:\PFC\java jade.Boot -container ex:massm.Exchange

A.2.3 Ejecución individual de los Agentes Inteligentes

Una vez ejecutada la plataforma y los agentes exigidos por el modelo se puede decidir en número de participantes del sistema. Para que exista liquidez y puedan darse las casaciones debe haber un creador de mercado. El número de inversores y el tipo de los mismos dependerá de los deseos del usuario.

Para ejecutar cada uno de los participantes, las instrucciones son:

- `java jade.Boot -container cm:massm.CreadorMercado`
- `java jade.Boot -container inu:massm.InversorUtilitario`
- `java jade.Boot -container inf:massm.InversorFundamental`
- `java jade.Boot -container int:massm.InversorTecnico`

Para cada agente que se desee añadir al sistema se ha de tener en cuenta no introducir un identificador ya en juego. En el caso de añadir un nuevo agente inversor utilitario a lo ejecutado hasta el momento sería de la forma:

- `java jade.Boot -container inu2:massm.InversorUtilitario`

A su vez, se pueden ejecutar un conjunto de agentes en una sola línea de comandos y una misma sesión Java. Sería, por ejemplo:

- `java jade.Boot -container inu1:massm.InversorUtilitario
inu2:massm.InversorUtilitario inu3:massm.InversorUtilitario
inu4:massm.InversorUtilitario inu5:massm.InversorUtilitario`

De esta manera se pueden realizar simulaciones de manera flexible en cuanto a la población del mercado.

A.3 Obtención de Resultados

A lo largo del proceso de simulación, el sistema genera estadísticas cada determinado intervalo de tiempo –configurable en el fichero `config.xml`–, por defecto es cada 30 segundos.

El resultado de dichas estadísticas es presentado en formato HTML, visualizable desde cualquier navegador web. Dicho fichero se encuentra en C:\PFC\stats.html y desde Opera 8.5 sería de la forma Figura 59.

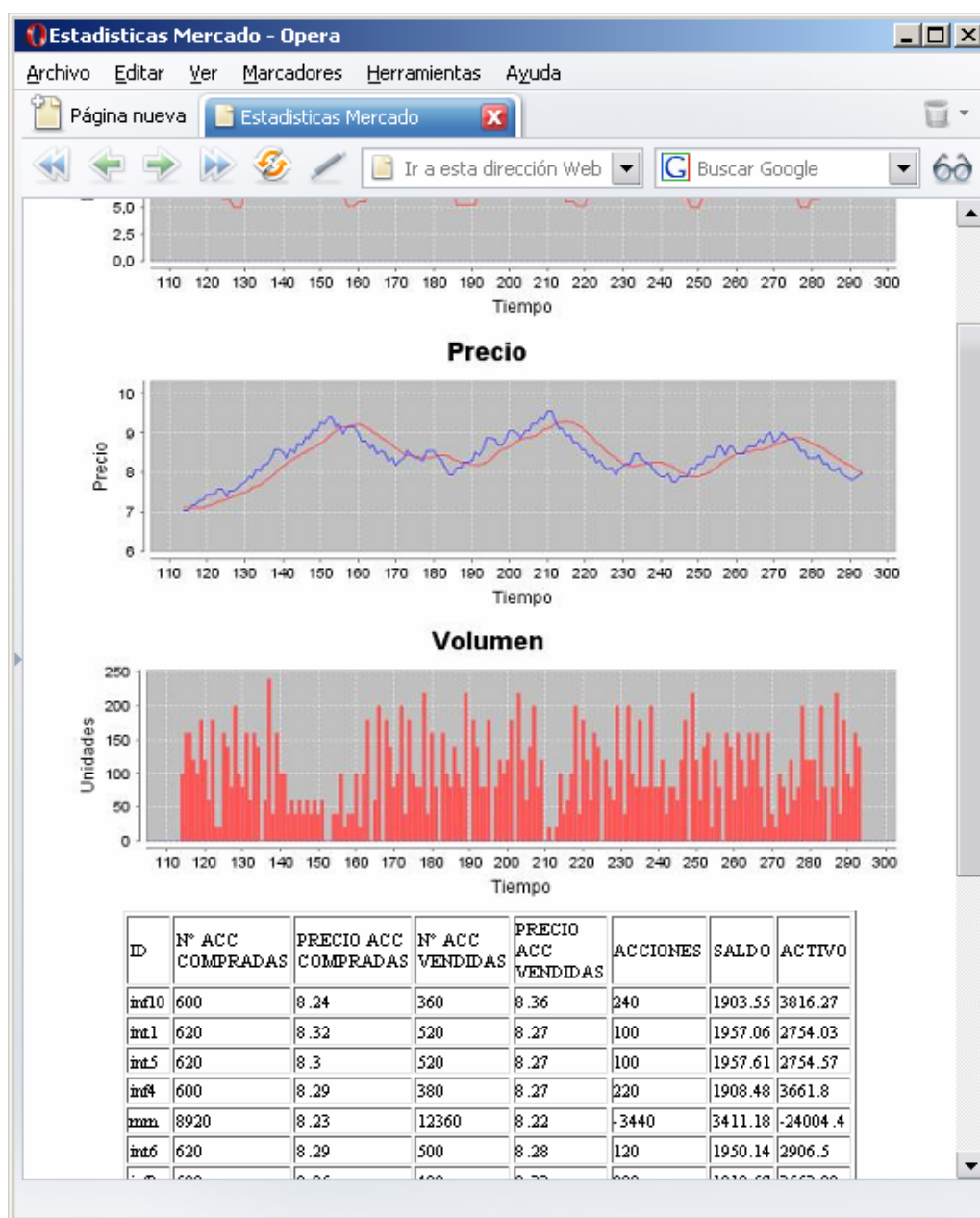


Figura 59. Obtención de resultados HTML.

Es especialmente interesante observar el precio medio de compra, «PRECIO ACC COMPRADAS», y el precio medio de venta, «PRECIO ACC VENDIDAS». Es un claro indicador de la actuación en conjunto del agente. Si compra más barato de lo que vende estará generando beneficios, en caso contrario incurrirá en pérdidas.