

03063

5

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERIA DE LA
COMPUTACION

ANALISIS DE MERCADOS FINANCIEROS
MEDIANTE EL MERCADO FINANCIERO ARTIFICIAL
NNCP

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

P R E S E N T A :

JOSE LUIS GORDILLO RUIZ

DIRECTOR: CHRISTOPHER STEPHENS

MEXICO, D.F.,

03/01

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Con cariño, para toda mi familia

Quiero agradecer a toda mi familia por el apoyo, cariño y comprensión que siempre me han brindado; a mis amigos y amigas, por su ayuda y compañía en todo momento; a Chris, por guiarme y apoyarme en este proyecto.

También quiero agradecer a las diferentes instituciones de la UNAM que me han brindado la oportunidad de continuar con mi formación académica, así como a los profesores y al personal del Posgrado en Computación, por el esfuerzo realizado.

Índice General

1	Introducción	3
1.1	Motivación	3
1.2	Marco de Estudio	6
1.3	Agentes Inteligentes	7
1.4	Algoritmos Genéticos	9
2	Mercados Financieros	11
2.1	Mercados Financieros Reales	11
2.1.1	Participantes de un mercado financiero	12
2.1.2	Dinámica de un mercado financiero	13
2.1.3	Tipos de Estrategias de los inversionistas	14
2.1.4	Ejemplos de mercados financieros en el mundo	17
2.2	Ejemplo de mercados financieros artificiales: El SFVM	18
2.2.1	Los participantes del mercado y estrategias usadas	18
2.2.2	La dinámica del mercado	19
3	El Mercado Financiero Artificial NNCP	21
3.1	Los participantes del mercado	21
3.2	Dinámica del mercado	23
3.2.1	La doble subasta	24
3.2.2	El modelo de órdenes al mercado	25

3.2.3	El modelo con <i>market makers</i>	26
3.3	Estrategias para los <i>market makers</i>	27
3.3.1	Monopolio	28
3.3.2	Competencia extrema	30
3.3.3	Aleatoria	30
3.3.4	Manejo de inventario	32
4	Resultados	35
4.1	Modelos sin especialistas	36
4.1.1	Mercados sin información	36
4.1.2	Efectos de la información	38
4.1.3	Adaptación	44
4.2	Modelo con <i>market makers</i>	57
A	Aleatoriedad del Mercado	73
A.1	La oferta y demanda como un número aleatorio	74
A.2	Diferencia aleatoria	75
A.3	Diferencia aleatoria acumulada	75
A.4	El valor de η y el volumen de operación	78
B	El Código del NNCP	85

Capítulo 1

Introducción

1.1 Motivación

El objetivo de este trabajo es la construcción del mercado financiero artificial NNCP (Neural Network, Chaos and Prediction)¹ y el análisis de diferentes modelos de organización usando este mercado artificial. Los mercados financieros, entidades encargadas de promover y organizar la transacción de instrumentos financieros entre inversionistas, son sistemas dinámicos complejos, compuestos de muchos elementos que interactúan entre sí. Una de las razones de interés en el estudio de estos sistemas es el reto científico que representan: la dinámica de un mercado financiero es difícil de entender, no sólo por la complejidad de sus elementos, sino también por la complejidad de sus interacciones y por la diversidad y complejidad de los factores externos por los que se ven influenciados. Por otra parte, la construcción de un mercado financiero artificial representa retos y proporciona oportunidades de experimentación de gran interés en la modelación computacional y en la inteligencia artificial: ¿cuál debe ser el orden de los eventos?, ¿cómo representar diferentes mecanismos de transacción?, ¿cómo implementar las estrategias de los participantes?, ¿y el aprendizaje?, ¿cómo manejar diferentes niveles y tipos de información?.

Existe un sinfín de aspectos que pueden ser estudiados en un mercado financiero artificial, tales como diferentes estrategias para los inversionistas, cantidades de información, métodos de transacción, niveles de aprendizaje, tipos de modelación de aprendizaje, impacto en el mercado de diferentes volúmenes de transacción, eficiencia de *metaestrategias*, entre muchos otros. Este trabajo está limitado al análisis y comparación de diferentes modelos de organización de un mercado financiero. El modelo de organización está de-

¹NNCP es, en general, un proyecto de investigación en sistemas complejos perteneciente al ICN-UNAM

terminado por los mecanismos de transacción y los mecanismos para ofrecer posturas, y el objetivo es determinar el impacto de estos mecanismos en el comportamiento del mercado. Los modelos analizados pueden clasificarse en dos grupos principales: con *market makers* y sin *market makers*. Los *market makers* son entidades especiales en un mercado financiero, las cuales están encargadas de proveer liquidez en el mercado, es decir, de satisfacer los requerimientos de compra y venta de las demás entidades. A pesar del importante papel que juegan en un mercado financiero, los *market makers* han sido excluidos en todos los modelos de mercados financieros artificiales basados en agentes, de ahí que resulta interesante modelar este tipo de entidades y experimentar sobre sus posibles estrategias, además de observar los efectos de su existencia (o de su ausencia) en el mercado.

Existen varias razones por las que un análisis del modelo de organización de un mercado financiero resulta de interés:

- La competencia por atraer un mayor flujo de operaciones, la cual en la actualidad involucra a mercados financieros de todo el mundo, ha venido incrementándose continuamente. De este modo, la optimización de la organización del mercado es considerada como una de las políticas más importantes de los mercados. Uno de los principales debates al respecto es si la organización del mercado afecta su liquidez y el costo por transacción, variables fundamentales en la competencia por el flujo de operaciones [13].
- En los mercados financieros ocurren caídas fuertes o alzas exageradas (burbujas) del precio de las acciones. Estos fenómenos pueden deberse a diferentes causas, y es importante asegurar que la organización del mercado no es una de ellas.
- Es deseable que los mercados financieros establezcan medidas regulativas, con el fin de proteger a los inversionistas que se encuentran en desventaja con respecto a aquellos que poseen una mayor cantidad de información; además, es importante evitar que algún participante del mercado obtenga una posición ventajosa debido a la organización. Estas medidas requieren una comprensión amplia de los efectos del modelo de organización.
- Una motivación importante en la comprensión de un mercado financiero es, por supuesto, la posibilidad de obtener ganancias en dicho mercado.

La evaluación del comportamiento del mercado está basada en los siguientes parámetros:

1. La liquidez del mercado, la cual puede determinarse por el volumen de transacción.

2. La volatilidad en los rendimientos (*returns*) del precio de la acción.
3. Las ganancias que obtienen los diferentes participantes.

Naturalmente, el modelo de organización no es el único factor que determina el comportamiento de un mercado; en gran medida, el precio de una acción es formado por la interacción entre las entidades participantes del mercado: cada entidad actúa realizando una operación, pero la decisión sobre cual operación realizar se ve afectada por las decisiones que otras entidades han tomado en el pasado. Estas decisiones son tomadas considerando diferentes estrategias (de muy diversos tipos) y dependen de una gran variedad de factores, como son el horizonte de tiempo de cada participante, la información disponible, el plazo en el que cada participante esté interesado, etc. Con el objetivo de aislar el efecto que tiene la organización del mercado, en este trabajo se han considerado únicamente participantes con estrategias sencillas, que derivan en un comportamiento aleatorio pero racional del mercado. Otro factor que estamos interesados en observar es el de la información, de modo que se han añadido algunas variantes en el comportamiento de los participantes para representar diferentes grados de información y diferentes usos que se le puede dar a ésta.

Por razones obvias, es imposible realizar un estudio experimental en un mercado financiero real: los estudios en esta vertiente se limitan a utilizar los datos históricos de los indicadores para corroborar ciertas hipótesis. Por ejemplo, en [9] se realiza un estudio estadístico para determinar la naturaleza de una serie de precios. En dicho trabajo se aborda el debate de cuál es la distribución que tipifica dicha serie: Gaussiana, Ley de Potencias, Lévy estable o Lévy inestable. Para realizar estudios experimentales, se han utilizado dos métodos distintos: la organización de *mercados de laboratorio* o mercados experimentales [13] y la simulación computacional. En el primer método se organiza un pequeño “mercado”, en donde un cierto número de personas realizan operaciones sobre emisoras ficticias, de acuerdo a las reglas de organización establecidas en el experimento. Este método tiene las desventajas de que la realización de un experimento toma una cantidad considerable de tiempo, además de que el número de datos generados es reducido; en [12], también se señala como una desventaja el hecho de que las motivaciones y el procesamiento de la información de los participantes no pueden ser controladas por el experimentador, dificultando una evaluación del impacto de su aversión al riesgo y del grado de su racionalidad². En las simulaciones computacionales, estas desventajas son eliminadas, además de que las herramientas de inteligencia artificial existentes permiten agregar un grado aceptable de “realismo” a dichas simulaciones, considerando que los participantes de un mercado financiero son seres humanos, entidades cuyo comportamiento

²Factores considerados importantes en el intento de comprensión de la dinámica de un mercado financiero

es difícil de modelar.

1.2 Marco de Estudio

Como se ha mencionado anteriormente, un mercado financiero es un sistema compuesto de entidades que realizan operaciones de compra y venta de instrumentos financieros. Sin necesidad de entrar en muchos detalles, podemos reconocer la importancia que tiene un mercado financiero en la economía; es por esto que, tradicionalmente, se ha intentado explicar el comportamiento de los mercados financieros desde perspectivas puramente económicas. Tal vez la teoría más difundida sobre los mercados financieros es la Teoría del Mercado Eficiente, la cual establece que el precio de una acción siempre refleja toda la información existente en el mercado y, en consecuencia, es prácticamente imposible obtener ganancias en forma consistente, debido a que los precios se ajustan en forma inmediata al valor verdadero de la acción³ y a la información disponible. Por ejemplo, si una acción esta sobrevaluada, existirá un exceso de oferta, pues nadie desearía comprar algo que tiene un precio mayor al verdadero, y así el exceso de oferta disminuirá el precio de la acción hasta que éste alcance el valor verdadero. De lo anterior se desprende que los mercados financieros no son ajenos a la Ley de la Oferta y la Demanda, de modo que un exceso en la demanda de una acción siempre eleva su precio, mientras que un exceso en la oferta lo disminuye.

A pesar de su aparente validez, las teorías mencionadas en el párrafo anterior no han logrado modelar el comportamiento en la evolución del precio de una acción, ni explicar fenómenos como *burbujas* o *caídas*. Por otra parte, el análisis de sistemas financieros mediante métodos desarrollados en áreas ajenas a la Economía tiene ya una larga tradición; en la búsqueda de un modelo que explique más satisfactoriamente el comportamiento de un mercado, en los últimos años se ha fortalecido una nueva tendencia en el estudio de los mercados financieros, la cual involucra varias disciplinas, tales como Sistemas Complejos, Física, Ecología, etc.; en particular, los sistemas complejos han jugado un papel importante dentro de esta tendencia, ya que proveen un marco de estudio adecuado: a grandes rasgos, un sistema complejo es un sistema compuesto de múltiples entidades que interactúan entre sí, lo cual provee al sistema múltiples grados de libertad y el estado del sistema emerge como resultado de las interacciones entre las entidades; en estos sistemas, cada entidad puede tener un efecto limitado en la totalidad del sistema y comúnmente pueden ser fácilmente analizables de manera individual, pero el conjunto de interacciones entre éstas es complejo y su efecto es difícil de determinar. Esto representa una descripción

³El *valor verdadero* implica un acuerdo entre todos los participantes

adecuada para un mercado financiero.

Dentro de este marco de estudio se han construido diversos sistemas de simulación computacional, denominados mercados financieros artificiales. Para modelar las características de las entidades participantes en el mercado financiero, generalmente estos sistemas de simulación incluyen técnicas de inteligencia artificial, tales como algoritmos evolutivos, redes neuronales artificiales, etc.; incluso, algunos de estos trabajos tienen como objetivo principal el estudio de estas técnicas y su eficacia para modelar la mente, usando al mercado financiero como un laboratorio de observación [21]. El **Mercado Virtual de Santa Fe (SFVM)** [1], desarrollado en el Instituto Santa Fe, es quizá el ejemplo más representativo de los mercados financieros artificiales. El SFVM es un sistema de simulación con agentes artificiales, los cuales toman sus decisiones basándose en un conjunto de reglas, mediante las cuales intentan predecir el precio de una acción en el futuro dada una condición del mercado. Estas reglas son adaptadas en el tiempo mediante un algoritmo genético. El SFVM utiliza un modelo sencillo de la evolución del mercado y ha sido utilizado generalmente para estudiar diferentes tipos de estrategias, su impacto en el mercado y los resultados de la diversidad provista por el algoritmo genético. Otros trabajos relevantes son: el Proyecto de Mercados Artificiales, en el Laboratorio de Ingeniería Financiera del MIT [20]; este proyecto tiene como objetivos principales el estudio de las interacciones entre agentes inteligentes y humanos en un mercado estocástico, el aprendizaje artificial de dinámicas de sistemas complejos y el análisis estadístico de modelos financieros; el Proyecto de Mercados Virtuales del Centro para el Aprendizaje Biológico y Computacional [21], también del MIT: el trabajo realizado en este proyecto se centra en la idea de que la mente puede ser representada por un conjunto de agentes que procesan información e interactúan entre sí, es decir, puede ser representado por un mercado de agentes financieros; ACE (Agent-based Computational Economics) [19] de la Universidad Estatal de Iowa, cuyo principal interés es el estudio de las regularidades observadas en economías de mercado descentralizadas.

1.3 Agentes Inteligentes

Podemos decir que un agente inteligente es un programa computacional que posee cierta heurística y algún proceso de aprendizaje artificial, y su objetivo es capturar algún aspecto del comportamiento humano. En los últimos años, la técnica de agentes ha sido extensamente utilizada en el análisis y estudio de sistemas, tanto naturales como artificiales, que son caracterizados por comportamientos complejos, derivados de interacciones entre múltiples componentes o subsistemas. Ejemplos de estos sistemas son: sistemas in-

munológicos, nerviosos, organismos multicelulares, sistemas ecológicos, económicos, entre otros. El uso de agentes inteligentes en el modelado de sistemas sociales y económicos tiene varias ventajas, entre las cuales se encuentran: la posibilidad de realizar experimentos con mayor complejidad, la transparencia de sus procesos de aprendizaje y la posibilidad de ser completamente controlables y fácilmente modificables, además de que los resultados pueden ser comparados más confiablemente con resultados teóricos, pues se ha eliminado el factor de incertidumbre humana. Entre las desventajas se encuentran: la necesidad de usar algoritmos que no han sido completamente probados, la calibración de parámetros y una serie de suposiciones controversiales [11].

Aunque la utilización de agentes en la construcción de *software* ha tenido un gran auge en los últimos años, no existe una definición clara de lo que es en realidad un agente, ni sobre las características que estos deben de poseer y ni siquiera una clasificación totalmente aceptada. Una definición común es la siguiente [14]:

Un agente es una entidad de *software* que funciona de una manera continua y autónoma, dentro de un ambiente particular, comúnmente habitado por otros agentes y/o procesos.

Los requerimientos de continuidad y autonomía se derivan de la expectativa de que el agente sea capaz de realizar las actividades encomendadas de una manera flexible e inteligente, que le permita responder a cambios en el ambiente sin requerir intervención humana. De lo anterior se puede deducir otra característica de los agentes: su objetivo es realizar una tarea definida. Otras características comúnmente asignadas a los agentes son las siguientes:

- Comportamiento colaborativo. Los agentes pueden trabajar en conjunción con otros agentes para lograr metas comunes.
- Adaptabilidad. Un agente puede aprender de su propia experiencia.
- Movilidad. Un agente tiene la capacidad de migrar de un máquina a otra.

Existe una clasificación de agentes en la cual estos son colocados en un espacio de tres dimensiones que corresponden a los niveles de *agencia*, *inteligencia* y *movilidad* del agente, en donde: a) *agencia* se entiende como el grado de autonomía y puede medirse por el grado de interacción entre el agente y otras entidades del sistema, b) *inteligencia* es el grado de razonamiento y aprendizaje en su comportamiento y c) *movilidad* es la facilidad con que los agentes pueden moverse, de manera independientemente, a través de una red [14].

En el contexto de nuestro mercado financiero artificial, los agentes representan a las entidades encargadas de realizar operaciones en el mercado, mientras que el ambiente en el cual los agentes actúan e interactúan es el mercado en sí. Cada agente posee una cantidad de recursos y tiene sus propias estrategias (que definen un comportamiento individual), las cuales utilizará para invertir esos recursos con el fin de incrementarlos. Las interacciones entre los agentes se dan indirectamente, mediante las operaciones que realizan en el mercado. El precio de un instrumento es el mecanismo de información que representa la interacción entre los agentes.

1.4 Algoritmos Genéticos

El uso y popularidad de los algoritmos genéticos se ha incrementado considerablemente, principalmente en el análisis de problemas de optimización, de búsquedas complejas, adaptabilidad de sistemas clasificadores, así como en el aprendizaje artificial (*machine learning*) y algoritmos adaptativos, siendo su robustez uno de sus principales atributos [3]. En un algoritmo genético, las variables que describen el problema a resolver y las reglas que las gobiernan, son codificadas en la forma de una población de cadenas, conocidas como cromosomas, compuestas de un conjunto de símbolos de un alfabeto. El objetivo de un algoritmo genético es la evolución de esta población hasta encontrar el cromosoma más "exitoso", en donde el éxito se mide mediante una función de adaptabilidad (*fitness*). Comúnmente, esta función es estática, es decir, un cromosoma tiene el mismo nivel de adaptación "en cualquier instante de tiempo", pero también puede ser dinámica.

La población de cromosomas evoluciona bajo la acción de un conjunto de *operadores genéticos*, de los cuales los más comunes son: selección, entrecruzamiento y mutación. La selección puede implementarse de varias maneras diferentes y su efecto es incrementar el número de cromosomas "exitosos" en la población; el entrecruzamiento es una recombinación, la cual involucra dividir dos cromosomas padres, para generar un nuevo cromosoma que contenga características de ambos; la mutación consiste en cambiar el valor de un símbolo particular de un cromosoma por otro valor del conjunto de símbolos posibles. El objetivo de los dos últimos operadores es introducir una mayor diversidad en la población.

Un sistema clasificador consiste en una serie de reglas, del tipo *condición:acción*, en donde la *condición* representa uno de los posibles estados del sistema, y la *acción* es la acción a realizar que corresponde a dicho estado. En el uso de algoritmos genéticos en sistemas clasificadores, el objetivo es encontrar el conjunto de reglas que proveen las mejores acciones para un conjunto determinado de estados del sistema.

En algunos mercados financieros artificiales, se han utilizado algoritmos genéticos para adecuar las estrategias de las entidades del mercado, es decir, como un método adaptativo. Comúnmente, cada entidad toma sus decisiones basándose en las reglas de un sistema clasificador, en el cual la condición de cada regla representa un estado particular del mercado financiero, y la acción indica al agente la acción a realizar conforme a dicho estado. El objetivo es que, mediante el algoritmo genético, cada entidad seleccione las reglas cuya aplicación ha procurado un mayor éxito en un periodo dado y/o consiga una evolución en sus reglas para obtener una estrategia mejor; aquí surge el problema principal en la aplicación de algoritmos genéticos en estos sistemas: la función de adaptabilidad es dinámica, es decir, las reglas que fueron exitosas en un periodo no necesariamente lo serán en otro; los diferentes horizontes y plazos de cada entidad juegan un papel importante en los resultados del algoritmo genético.

Capítulo 2

Mercados Financieros

En este capítulo se describe brevemente el funcionamiento de los mercados financieros reales y algunos de los aspectos que influyen en su comportamiento. También se hace una breve revisión del SFVM, con el fin de ejemplificar la forma en que el funcionamiento del mercado puede ser modelado en un mercado financiero artificial.

2.1 Mercados Financieros Reales

A manera de definición, podemos decir que un mercado financiero es el lugar, mecanismo o sistema en el cual diferentes participantes realizan la compra-venta de instrumentos financieros [15]. Entre los objetivos de un mercado financiero podemos citar los siguientes: establecer un “lugar”¹ para poner en contacto a los participantes, determinar un precio justo para los instrumentos que en él se negocian y proporcionar liquidez². Los mercados financieros compiten entre sí, ya que un instrumento puede negociarse en más de un mercado; actualmente esta competencia se ha incrementado considerablemente, de modo que los mercados financieros deben encontrar mecanismos eficientes que reduzcan el costo de transacción y provean mayor liquidez, a fin de atraer un mayor flujo de operaciones; de ahí la importancia de estudiar los efectos de la organización del mercado financiero.

¹no necesariamente físico

²la conversión del instrumento financiero en dinero y viceversa

2.1.1 Participantes de un mercado financiero

En un mercado financiero participan diferentes entidades, las cuales están interesadas en realizar operaciones de compra-venta de instrumentos financieros y su objetivo es, obviamente, obtener una ganancia a partir de dichas operaciones. Esta ganancia puede representarse como una función objetivo f_o , y un inversionista está interesado en maximizar esta función. Entre los participantes de un mercado financiero podemos encontrar los siguientes:

- **Inversionistas (*traders*)**. Los inversionistas son aquellos interesados en invertir en algún instrumento financiero y generalmente no son parte de la organización del mercado; pueden ser individuos interesados en hacer una pequeña inversión, compañías deseando realizar una transacción con grandes volúmenes, especuladores que esperan obtener ganancias a partir de los movimientos en el mercado, etc. Los inversionistas se enfrentan a diversos problemas, los cuales dependen de los intereses que cada uno de estos tenga. Así por ejemplo, un inversionista pequeño debe encontrar otro inversionista dispuesto a realizar una transacción, encontrar el mejor precio, etc., un inversionista grande debe encontrar la mejor manera de mover un volumen grande de acciones sin que esto afecte el precio de la acción y, por consecuencia, su propia transacción; un especulador debe tener la información necesaria para intentar predecir hacia donde se moverá el precio de los instrumentos que maneja. La liquidez en el mercado es otro problema que enfrentan los inversionistas; la falta de liquidez es un factor que puede afectar el comportamiento del precio de un instrumento. Por ejemplo, si existen inversionistas que quieren comprar pero no hay inversionistas dispuestos a vender (lo cual se puede deber a que estos tienen horizontes de largo plazo), el precio del instrumento empezará a subir debido a la demanda insatisfecha. La disponibilidad de la información es otro problema que los inversionistas deben enfrentar.
- **Market Markers (*especialistas*)**. Son entidades especiales de los mercados financieros y su papel consiste en proporcionar liquidez al mercado. Los *market makers* ponen en contacto a los inversionistas para que estos puedan realizar una transacción y cubren la oferta y demanda insatisfechas. Para lograr esto, los *market makers* ofrecen un cierto volumen de acciones a un precio de compra y un precio de venta (conocidos como *bid* y *ask*) y están obligados a comprar y vender dicho volumen a los precios ofrecidos. El conjunto de ofertas de los *market makers* es conocido como *montage*, y cualquier transacción en el mercado debe realizarse al precio de las mejores ofertas del *montage*. La diferencia entre el *bid* y el *ask* de un *market maker* es conocido como *spread*, y es principalmente mediante éste que un *market maker* trata de obtener

sus ganancias. Dado que los *market makers* son los que establecen el precio en el mercado, existe un conjunto de medidas regulativas que evita que estos manejen sus posturas en forma desventajosa para los inversionistas; a pesar de las ventajas que tienen los *market makers*, también deben enfrentarse a varios problemas como son: la competencia de otros *market makers*, la competencia de *limit orders* y la competencia con otros mercados financieros.

- *Brokers*. Su participación en el mercado consiste en prestar un servicio a los inversionistas: se encargan de juntar a dos de estos con propuestas similares para que realicen una transacción, cobrando por ello comisión.
- *Dealers*. Son *brokers* que además pueden invertir por cuenta propia.

2.1.2 Dinámica de un mercado financiero

Los mercados financieros se diferencian entre sí principalmente por su organización, es decir, la forma en que los participantes ofrecen sus posturas, los tipos de posturas que se pueden ofrecer y el mecanismo para realizar las transacciones dentro del mercado. Existen dos tipos principales de posturas: *limit orders* y órdenes al mercado (*market orders*). Con un *limit order*, el inversionista establece el precio que está dispuesto a pagar por una acción, de modo que la transacción se realiza sólo cuando el precio de la acción ha alcanzado la postura del inversionista; por otro lado, las órdenes al mercado implican que el inversionista está dispuesto a adquirir una acción, de inmediato, a su precio actual en el mercado. Estos tipos de posturas originan dos tipos de mecanismos de transacción: mediante una doble subasta y mediante especialistas. En una doble subasta, los inversionistas ofrecen sus posturas (las cuales corresponden a los *limit orders*), y se realiza una transacción si dos inversionistas están de acuerdo en el precio que ofrecen. La doble subasta puede realizarse de varias maneras: los inversionistas pueden ofrecer sus posturas en el *piso* del mercado financiero o pueden recurrir a los especialistas para encontrar una postura complementaria; aunque al recurrir a un especialista deben pagar una comisión, los inversionistas optan por ellos debido a que esto facilita la transacción, pues no resulta sencillo encontrar la mejor postura complementaria en un mercado con miles de inversionistas. El surgimiento de nuevas tecnologías, como las Electronic Communications Networks (ECN), permite ahora que los inversionistas tengan acceso fácil a las posturas de los demás mediante un medio electrónico, evitándose así la necesidad de los intermediarios. Como se discute en [16], las ECN están teniendo un gran impacto en los principales mercados financieros, el cual dará lugar a una fuerte reestructuración de estos. Por otra parte, las órdenes al mercado son cubiertas por los *market makers*, de modo que

los inversionistas pagan el precio que ofrecen los especialistas, el cual, por regulación, debe ser siempre el mejor precio disponible en el mercado. Los principales mercados financieros funcionan como una combinación de estos modelos, es decir, poseen mecanismos para establecer una doble subasta y a la vez existen especialistas. Esto introduce una mayor complejidad al mercado e incrementa las dificultades para sus participantes: los inversionistas deben evaluar las ventajas de participar en una subasta y las de acudir a un especialista, los especialistas deben competir ahora con los precios de subasta, etc.

2.1.3 Tipos de Estrategias de los inversionistas

Los inversionistas de un mercado financiero siguen determinadas estrategias para manejar su portafolio, con el fin de incrementar sus ganancias a través del mercado. Existe un gran número de estrategias, de diversos tipos, las cuales se basan en diferentes aspectos, incluyendo reglas intuitivas o heurísticas e, incluso, emocionales o aleatorias. Es difícil establecer si una determinada estrategia es buena o mala, pues la misma estrategia puede producir resultados completamente diferentes en situaciones similares, ya que, al fin y al cabo, lo que intenta hacer una estrategia es predecir el comportamiento del precio. Existen dos conjuntos de estrategias que tienen un cierto nivel de soporte analítico y que son ampliamente utilizadas, las cuales son: técnicas y fundamentales. La diferencia entre estos tipos de estrategias consiste en la información que utilizan para determinar la postura del inversionista.

Las estrategias fundamentales se basan en el estudio del estado general de la economía, la industria y la compañía emisora para determinar si sus acciones están valuadas correctamente. Bajo estas estrategias, un análisis de la economía en general y de la industria a la que pertenece una emisora dada, es útil para determinar si las condiciones son favorables para esa emisora; la compañía emisora es estudiada para determinar su estado y este análisis se basa en los principales indicadores de la empresa, de los cuales pueden calcularse diferentes medidas. Algunas de las más utilizadas son las siguientes [18]:

- **Ganancia Marginal Neta.** La ganancia marginal neta es una medida del nivel de ganancias de una compañía, y es calculada dividiendo las ganancias totales entre su volumen de ventas.
- **P/E (price/earning ratio).** Es el valor de una acción emisora dividido entre las ganancias por acción. Representa una medida de lo que debe pagar un inversionista por poseer una fracción de las ganancias de la emisora.
- **Valor en libros por acción.** El total neto de valores de la compañía dividido entre el

total de acciones.

Estos indicadores pueden proveer una estimación del valor fundamental de una acción, el cual es comparado con su valor en el mercado. Obviamente, diferentes inversionistas pueden percibir diferentes valores fundamentales de una acción, lo cual produce movilidad en su precio en el mercado.

Las estrategias técnicas están basadas en el estudio del comportamiento del precio de una acción o de otros indicadores, con la intención de descubrir tendencias en dicho comportamiento. A pesar de su uso ampliamente extendido, existe una controversia acerca del uso de este tipo de estrategias, ya que, en teoría, el comportamiento futuro del precio de una acción no depende de su comportamiento en el pasado. El análisis técnico tiene sus orígenes en la Teoría de Dow, formulada a principios de siglo. Las estrategias técnicas utilizan una gran variedad de métodos para determinar el comportamiento del precio, las cuales incluyen medidas estadísticas, de frecuencia, etc. Para ejemplificar la naturaleza de estas estrategias, a continuación se describen algunas de éstas:

- Promedio Móvil. Es el valor promedio del precio de una acción o de algún otro indicador, sobre un periodo de tiempo determinado. Existen varias formas de calcular este promedio, las cuales se diferencian en el peso asignado a cada uno de los datos. La interpretación común de este indicador es que si el precio actual excede a su promedio en un periodo de tiempo dado, la acción esta a la alza y es conveniente comprar.
- MACD. El MACD (Moving Average Convergence/Divergence) es un indicador de la relación existente entre dos promedios móviles. El MACD se obtiene de la diferencia entre dos promedios móviles con diferentes periodos (26 y 12 días, por ejemplo). Se utiliza otro promedio móvil (de 9 días, por ejemplo) como señal de referencia. La interpretación más usada del MACD es comprar si éste cae por debajo de su señal de referencia, y vender en caso contrario.
- Análisis de Fourier. Este tipo de análisis es usado para detectar patrones cíclicos en el precio de una acción.
- Análisis de correlación. Este análisis mide la relación entre dos indicadores y su objetivo es determinar dependencias entre dichos indicadores, de modo que un cambio en uno de ellos prediga un cambio en el otro.

Considerando la diversidad de participantes, de métodos de transacción y de estrategias, surgen las que quizá son las dos preguntas más importantes en el juego de la compra-

venta de acciones: ¿cómo se determina el precio de una acción? y ¿cuál será su comportamiento en el futuro?. Como se menciona en la Sección 1.2, el precio de una acción se determina en gran medida por la oferta y demanda existentes; según la Teoría del Mercado Eficiente, la oferta y demanda deben equilibrarse, de modo que el comportamiento del precio de una acción debe ser estático. De esta teoría se desprende que todos los participantes tienen *Expectativas Racionales* [12], es decir, todas las entidades deducen su comportamiento óptimo mediante un procesamiento lógico de las circunstancias de cualquier situación, dando por hecho que todas las demás entidades hacen lo mismo. Como se menciona en [1], aunque estas suposiciones parecen ser razonables, necesitan de la adopción de otras suposiciones que no son tan razonables, como:

- Todas las entidades tienen un completo conocimiento de las circunstancias.
- Todas las entidades son capaces de deducir su comportamiento óptimo, no importando la complejidad del problema.
- Todas las entidades suponen que los demás tienen la misma información y la usan con la misma racionalidad, y además los demás saben que el otro sabe acerca de su comportamiento, y cada entidad sabe que las demás saben que ellos saben, etc.

En algunos mercados experimentales, los resultados obtenidos señalan que el mercado alcanza el equilibrio previsto por el modelo de las expectativas racionales [12], esto es, el mercado alcanza un estado en donde todos los participantes llegan a un acuerdo sobre las condiciones del mercado; esto no sucede en los mercados financieros reales, debido quizá a las siguientes razones:

- Diversidad de participantes. Como hemos mencionado, los participantes de un mercado financiero desean maximizar la función f_o que representa sus ganancias; pero existen diferentes participantes con diferentes funciones objetivo: algunos inversionistas estarán interesados en las ganancias que sus operaciones produzcan en un plazo largo, otros en las ganancias que produzcan en el corto plazo, otros más en la totalización de sus ganancias en un largo plazo mediante operaciones de corto plazo. Además, cada participante utiliza diferente información para "calcular" su función objetivo: algunos utilizarán estrategias técnicas, otros fundamentales, otros más una combinación de ambas; incluso dentro del mismo tipo de estrategia, ¿qué cantidad de información usa un inversionista?. En [12] se presenta un ejemplo de cómo el solo hecho de tener inversionistas con diferentes horizontes de tiempo³ introduce un

³la cantidad de información pasada utilizada para calcular el resultado de una estrategia

desequilibrio en el mercado, aun cuando la información es común para todos los participantes. Un resultado interesante es que, a pesar de usar una cantidad menor de información, los inversionistas con horizonte corto no necesariamente están en desventaja con respecto a los inversionistas con horizonte largo. Otra fuente de diversidad es que, como ya se ha mencionado, los inversionistas con estrategias fundamentales tienen diferentes apreciaciones sobre el valor fundamental de una acción.

- Diversidad de información. La cantidad de información no es equitativa entre todos los participantes y no es usada en la misma manera. Por ejemplo, algunos de ellos pueden llegar a saber cuales serán los movimientos de otros.
- Liquidez. Si todos los inversionistas tienen las mismas expectativas y la misma función objetivo, no existiría liquidez en el mercado. La falta de liquidez introduce demandas u ofertas insatisfechas, lo que afecta el precio de la acción.

2.1.4 Ejemplos de mercados financieros en el mundo

En el mundo existe una gran cantidad de mercados financieros; el más grande de todos (por la cantidad de emisoras que se cotizan) es el New York Stock Exchange (NYSE). En este mercado, cada emisora tiene un especialista (un *market maker* sin competencia), el cual se encarga de proveer liquidez a dicha emisora. A pesar de no tener competencia de otros *market makers*, los especialistas del NYSE no pueden establecer precios (o *spreads*) arbitrarios en sus posturas, pues se enfrentan a la competencia de otros mercados financieros (algunas de las emisoras que se cotizan en NYSE también se cotizan en otros mercados alrededor del mundo), de los *floor traders* (agentes que tienen permitido ofrecer posturas de compra y venta sin ninguna obligación) y *limit orders*. El segundo mercado en importancia en los EU es el NASDAQ. El NASDAQ es un mercado electrónico, al cual los inversionistas tienen acceso mediante un sistema de comunicación. En este mercado existe un número potencialmente ilimitado de *market makers* para cada emisora (actualmente el promedio es de 11); también existen dos niveles de inversionistas: los de nivel 1 pueden observar solamente las mejores posturas del *montage*, mientras que los de nivel 2 pueden observar el *montage* completo. Anteriormente, los *limit orders* eran manejados como órdenes privadas para los *market makers*, pero recientemente se ha establecido que los *limit orders* deben ser públicos, de modo que los *market makers* ahora deben competir contra estos. A su vez, se ha aceptado la introducción de las ECN dentro de este mercado, lo cual ha impuesto otra fuente de competencia para los *market makers*.

2.2 Ejemplo de mercados financieros artificiales: El SFVM

Los mercados financieros artificiales se han convertido en una herramienta muy utilizada para el estudio de mercados financieros. Desde su aparición, los mercados financieros artificiales han usado diferentes modelos para representar a los participantes del mercado y sus características, siendo el modelo evolutivo el que ha cobrado una mayor fuerza. Como se ha mencionado, el Mercado Virtual de Santa Fe (SFVM) es quizá el trabajo más representativo en mercados financieros artificiales. El SFVM es un mercado financiero artificial, en donde una población de agentes artificiales realiza transacciones sobre un número determinado de instrumentos financieros. Las estrategias de cada agente están representadas mediante un conjunto de reglas, las cuales evolucionan en el tiempo bajo la acción de un algoritmo genético. En los siguientes párrafos se hace una breve descripción de los mecanismos del SFVM.

2.2.1 Los participantes del mercado y estrategias usadas

En el SFVM, los únicos participantes en el mercado son los inversionistas, los cuales son conocidos como agentes. Existe un número N de agentes y un número de emisoras S ; cada agente posee inicialmente una cantidad de dinero y una cantidad de acciones de cada emisora. La riqueza del i -ésimo agente se mide mediante

$$w_i(t) = m_i(t) + \sum_s h_i^s(t) * p^s(t), \quad (2.1)$$

donde $w_i(t)$ es la riqueza del agente, $m_i(t)$ es la cantidad de dinero que posee, $h_i^s(t)$ es el número de acciones de la emisora s que mantiene y $p^s(t)$ es el precio de la acción de la emisora s .

El comportamiento de los agentes está dado por una ecuación de aversión al riesgo [1], mediante la cual cada agente intenta predecir el comportamiento futuro del precio de una acción y decide cuanto debe invertir en comparación con una inversión libre de riesgo. La predicción se realiza usando un sistema clasificador, el cual es adaptado en el tiempo mediante un algoritmo genético. Usando este sistema clasificador, cada agente debe escoger una de tres posibles acciones:

1. Comprar una acción: $b_i(t) = 1, o_i(t) = 0$.
2. Vender una acción: $b_i(t) = 0, o_i(t) = 1$.
3. Mantenerse neutral: $b_i(t) = 0, o_i(t) = 0$.

El sistema clasificador de un agente está constituido por un conjunto de reglas, las cuales se componen de tres partes (ver Sección 1.4): una condición, una acción y una fuerza, en donde la condición representa un estado particular del mercado; a cada periodo de tiempo, el estado del mercado se codifica en una cadena de símbolos, la cual es comparada por cada agente contra la condición de cada una de sus reglas; en caso de que la condición de una regla y el estado del mercado “coincidan”, la regla se activa, sugiriendo la realización de la correspondiente acción. Así por ejemplo, si las reglas de un agente son

$$\begin{aligned}
 001###100 & : 0 \\
 001###0100 & : 0 \\
 010###100 & : 1 \\
 101###100 & : 1 \\
 001###1100 & : 0
 \end{aligned}$$

(2.2)

y el estado del mercado es 0010101100, se activarán las reglas 1 y 5. El agente escoge de forma aleatoria que regla utilizar del conjunto de reglas activadas. La fuerza de todas las reglas de este conjunto se actualiza, de acuerdo al beneficio obtenido de la aplicación de cada una de éstas. El algoritmo genético se aplica en tiempos aleatorios, usando los operadores de selección para aumentar el número de reglas exitosas, y de mutación y entrecruzamiento para generar nuevas reglas. Dado este sistema de reglas, los diferentes comportamientos de los agentes están determinados por el número de estados del mercado que pueden representarse con una cadena de cierta longitud. Estos estados representan información útil para escoger cierto tipo de estrategias (principalmente técnicas o fundamentales), con diferentes horizontes de tiempo, pero difícilmente pueden determinar comportamientos de inversionistas con intereses a diferentes plazos. En [12] se dice que los agentes son *miopes*, pues en este mercado financiero no está contemplado el cálculo de una función de utilidad a largo plazo.

2.2.2 La dinámica del mercado

En el SFVM, a cada periodo de tiempo se anuncia el precio de la acción y cada agente debe decidir como invertir sus recursos, es decir, escoger $h_i(t)$, sujeto a alguna función de utilidad, la cual desea maximizar. La emisora paga un dividendo $d(t)$, de manera que un agente puede obtener ganancias ya sea mediante los dividendos o mediante el cambio del precio de una acción.

El mecanismo de transacción es simple: cada agente i anuncia cuantas acciones quiere

comprar ($b_i(t)$) y cuantas acciones quiere vender ($o_i(t)$), de modo que la demanda y oferta totales son

$$B(t) = \sum_{i=1}^N b_i(t), \quad (2.3)$$

$$O(t) = \sum_{i=1}^N o_i(t); \quad (2.4)$$

el número de acciones disponibles se considera divisible, de modo que si la oferta excede a la demanda o *vsa.*, el excedente es parcialmente satisfecho. Con este modelo de transacción, el precio es actualizado usando

$$p(t+1) = p(t)[1 + \eta(B(t) - O(t))], \quad (2.5)$$

donde η es una constante; este parámetro resulta crucial en el comportamiento del precio de la acción: una η pequeña produce ajustes lentos en el precio, mientras que un valor grande conduce a grandes oscilaciones. Finalmente, el dividendo $d(t)$ es proporcionado mediante un proceso estocástico. En cierto sentido, el flujo de dividendos es una fuente de ruido que guía al mercado. En el SFVM se han experimentado diferentes procesos aleatorios para la generación de los dividendos, incluyendo generadores de números aleatorios, procesos de Markov, etc.

Los autores del SFVM mencionan los aspectos de *vida artificial* entre los más relevantes de este trabajo. Realzan la autoformación de una economía autónoma, la cual surge a partir de un conjunto de agentes con un comportamiento escogido al azar, los cuales coevolucionan hasta alcanzar un comportamiento "inteligente". Entre los resultados, señalan que con pocos agentes y pocas reglas por agente, el mercado alcanza un equilibrio en el cual el precio de la acción refleja su valor fundamental, el volumen de operación es bajo y no hay anomalías; los agentes tienden a homogeneizarse, usando reglas simples. En el caso de tener un ambiente más diversificado, no hay evidencia de equilibrio. En una versión modificada del SFVM [10], se realizaron experimentos con agentes cuya heterogeneidad consistió en proporcionarles diferentes horizontes de tiempo. En estos experimentos se observó como agentes con horizontes cortos introducen inestabilidad en el mercado.

Capítulo 3

El Mercado Financiero Artificial NNCP

El mercado financiero artificial NNCP está inspirado en el modelo evolutivo del SFVM. Existe una población de agentes, cuyo comportamiento se define a través de un sistema clasificador. Los agentes invierten sus recursos en el mercado, el cual puede configurarse para actuar bajo diferentes reglas de organización: por doble subasta (con dos variantes para realizar la transacción), por órdenes al mercado sin especialistas y por órdenes al mercado con *market makers*. Como ya se ha mencionado, el uso de agentes que actúan como *market makers* ha sido poco explorado en mercados financieros artificiales, siendo ésta la característica más sobresaliente en el NNCP.

3.1 Los participantes del mercado

Los agentes del NNCP pueden ser de 4 tipos diferentes: con estrategias técnicas, con estrategias fundamentales, con estrategias aleatorias y *market makers*. Los dos primeros leen el estado del mercado de acuerdo sus estrategias y, mediante un sistema clasificador, deciden su postura. Los agentes con estrategias aleatorias deciden su postura al azar, con igual probabilidad para comprar, vender o permanecer neutrales. La información que poseen los inversionistas es un factor muy importante en el comportamiento del mercado. Para analizar el efecto de la información y su uso heterogéneo, se han introducido tres variantes a los agentes aleatorios; estas variantes se basan en proporcionar un sesgo a favor de las operaciones de compra, el cual es proporcional a un factor r . El parámetro r puede interpretarse como el conocimiento que tiene un inversionista acerca del factor de

crecimiento en el precio de una acción, el conocimiento de un flujo de dividendos continuo o algún otro factor que compense el riesgo de invertir en acciones. Las tres variantes son las siguientes:

- Agentes especuladores o de corto plazo. Tienen información sobre el posible incremento en las acciones, pero su horizonte es de corto plazo, así que la probabilidad de comprar una acción es mayor a la probabilidad de vender. Su aversión al riesgo no es grande, de modo que están dispuestos a realizar operaciones en 2 de cada 3 oportunidades. El comportamiento de estos agentes es similar al de los especuladores en un mercado real, pues intentan obtener ganancias rápidas, aprovechando los movimientos en el mercado. Las probabilidades de cada postura de este tipo de agentes son

$$P(c) = 1/3(1 + r_d * D), \quad (3.1)$$

$$P(v) = 1/3(1 - r_d * D), \quad (3.2)$$

$$P(n) = 1/3, \quad (3.3)$$

donde r_d es el porcentaje del posible incremento de la acción en un día y D es el número de días que fijan el plazo de interés del agente.

- Agentes pasivos. Tienen información sobre el posible incremento de las acciones y deciden mantener su portafolio durante un tiempo de mediano plazo; la probabilidad de permanecer neutrales es alta, es decir, tienen una aversión al riesgo muy grande, de modo que realizan pocas operaciones durante el plazo de su interés. Las probabilidades son

$$P(c) = (1 - x)(1 + r_d * D), \quad (3.4)$$

$$P(v) = (1 - x)(1 - r_d * D), \quad (3.5)$$

$$P(n) = x, \quad (3.6)$$

donde x es proporcional al plazo del agente, r_d es el porcentaje del posible incremento de la acción en un día y D es el plazo del agente.

- Agentes de largo plazo. Tienen información sobre el posible incremento de la acción, así que deciden comprar un número dado de acciones (proporcional al incremento) lo más pronto posible y mantener ese portafolio. Las probabilidades son

$$\begin{aligned} P(c) &= 1 \text{ si } S_i < S_t, \\ P(c) &= 0 \text{ si } S_i \geq S_t \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$P(v) = 0, \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} P(n) &= 0 \text{ si } S_i < S_t, \\ P(n) &= 1 \text{ si } S_i \geq S_t, \end{aligned} \quad (3.9)$$

donde S_i y S_t son el número actual y el número deseado de acciones que tiene el agente y

$$S_t = (1 + r_d)^t, \quad (3.10)$$

donde r es proporcional al plazo de interés del agente.

De aquí en adelante, cuando se hable de agentes informados se está refiriendo a un agente de alguno de estos tipos, mientras que un agente no informado es un agente aleatorio simple. Cabe enfatizar la diversidad que introducen en el mercado los tres tipos de agentes informados: cada uno responde de manera diferente a la información, es decir, no son perfectamente racionales¹, en el sentido establecido por el modelo de Expectativas Racionales. Dicho modelo supone que todos los participantes van a responder de la misma manera a la información, pues todos son capaces de calcular el comportamiento óptimo. En los experimentos descritos en el siguiente capítulo se presentarán los resultados de los diferentes usos de la información.

Por último, existen varios tipos de *market makers*: aleatorios, de inventario, monopolistas y competitivos, cuyas estrategias serán descritas posteriormente.

3.2 Dinámica del mercado

El funcionamiento general del mercado artificial es el siguiente: una simulación transcurre durante un número determinado de *ticks*, o periodos discretos de tiempo. A cada *tick* se realiza una doble subasta o un agente emite una postura, dependiendo del modelo de organización que se esté usando. Después de cada *tick* el precio se actualiza, con un modelo de evolución dependiente de la organización del mercado, el cual está basado en la Ec. 2.5 (en el Apéndice A se muestra un análisis sobre este modelo de evolución). Además, la acción tiene un incremento anual constante r , de modo que si no existe diferencia entre la oferta y la demanda, el precio evoluciona de acuerdo a

$$p(t + 1) = p(t)(1 + r_t), \quad (3.11)$$

donde r_t es el incremento correspondiente a cada *tick*. El motivo para introducir este factor de incremento es el de proporcionar un sesgo al comportamiento del precio de una acción, similar al que existe en los mercados reales. En promedio el precio de una acción

¹En la literatura son denominados *boundedly rational agents*.

tiene un incremento anual, de ahí el interés en invertir en instrumentos financieros. En las simulaciones, el factor r_t de aumento en el precio coincide con el factor r_d en las estrategias de los agentes informados, lo cual puede interpretarse como que estos agentes han realizado un estudio del comportamiento del precio.

En las siguientes secciones se describe en forma más detallada cada uno de los modelos de organización que han sido utilizados.

3.2.1 La doble subasta

Una doble subasta consiste en que, a cada *tick*, todos los agentes emiten una postura (comprar, vender o permanecer neutrales), así como el volumen de acciones que quieren intercambiar y el precio que consideran debe tener cada acción. A diferencia del SFVM, cada agente puede adjudicar un valor diferente a la acción; en este trabajo se ha considerado que los agentes tienen una idea similar del valor "real" y, por lo tanto, los valores que se adjudican no deben ser muy diferentes. En un mercado real, esta organización tendría la ventaja de que los inversionistas tienen un contacto inmediato entre sí, de modo que el precio se ve afectado solamente por la diferencia entre la oferta y la demanda. Los pasos que se siguen en el mercado artificial bajo este modelo de organización son los siguientes:

1. Se obtienen las posturas de todos los agentes participantes y el monto y volumen de acciones correspondiente. El monto de las posturas se obtiene con una distribución gaussiana centrada en el precio de la acción al iniciar el periodo.
2. Una postura de compra es satisfecha con una postura de venta sólo si existe un traslape entre ambas (es decir, si $p_c > p_v$), de modo que ningún agente acepta una postura con un precio "inferior" a la suya. Para realizar la transacción, se han seguido dos variantes: la primera, denominada **subasta entre mejores**, consiste en juntar la mejor postura de compra con la mejor postura de venta, después las segundas mejores posturas y así, sucesivamente, mientras se mantenga el traslape. El precio de cada transacción es el del punto medio entre la postura de compra y la de venta. La segunda variante, denominada **subasta entre iguales**, consiste en juntar sólo las posturas que tengan el mismo monto, en donde montos iguales significa el mismo número de unidades y centavos, por ejemplo, 17.1201 y 17.1299.
3. Se actualiza el precio "real" ($p(t)$) de la acción de acuerdo a las posturas que quedaron sin satisfacer, considerando sólo las posturas que tengan traslape, es decir, sólo si $p_c > p(t)$ y $p_v < p(t)$. El modelo de actualización es

$$p(t+1) = p(t)(1+r)[1 + \eta(B(t) - O(t))], \quad (3.12)$$

donde

$$B(t) = \sum [(b_i(t) - p(t))/p(t)] * v(t), \quad (3.13)$$

$$O(t) = \sum [(p(t) - o_i(t))/p(t)] * v(t), \quad (3.14)$$

en donde $v(t)$ es el volumen de la postura y $b_i(t)$ ($o_i(t)$) es la i -ésima postura de compra (venta) que no ha sido satisfecha y que cumple con las condiciones de traslape con respecto al precio "real". Estas condiciones garantizan que un agente no puede afectar el precio de una acción ofreciendo posturas de compra que son menores al precio real o posturas de venta que son mayores. Como ejemplo, supongamos que existen 10 agentes, 5 de los cuales tienen una postura de compra y 5 una postura de venta, las cuales son

Posturas de compra	Posturas de venta
18.96	18.16
18.52	17.09
17.63	16.34
17.08	15.12
17.01	14.98

y supongamos que el precio actual es 17.1 y que el modelo usado es subasta entre mejores. En este caso, las 3 primeras posturas de compra (18.86, 18.52 y 17.63) se complementan con las 3 últimas de venta (14.98, 15.12 y 16.34, respectivamente); las últimas posturas de compra (17.08 y 17.01) no se satisfacen, pero no afectan el precio, pues son menores que precio actual, mientras que las 2 primeras posturas de venta tampoco son satisfechas, pero sólo la segunda es considerada para actualizar el precio.

3.2.2 El modelo de órdenes al mercado

Cuando un inversionista realiza una orden al mercado, emite su postura y espera hasta encontrar una postura complementaria. Si existen especialistas (*brokers* o *market makers*), estos son los encargados de producir la transacción, proporcionando liquidez en el mercado; en el caso de que estos especialistas no existan, los inversionistas deben esperar un cierto tiempo hasta que su postura es satisfecha, de modo que el precio se ve afectado no sólo por la diferencia entre la oferta y la demanda, sino también por el tiempo que cada inversionista mantiene su postura, esperando que ésta sea satisfecha. El modelo de órdenes al mercado del NNCP representa esta situación; en este caso, todas las

transacciones se realizan al precio actual de la acción y la mecánica seguida consiste en los siguientes pasos:

1. A cada *tick* se escoge un agente al azar y se obtiene su postura.
2. Se actualiza el precio tomando en cuenta la nueva postura del agente, de acuerdo a

$$p(t + 1) = p(t)(1 + r)\{B(t) - O(t)\}, \quad (3.15)$$

donde $B(t)$ ($O(t)$) es la suma de todas las posturas de compra (venta) existentes, multiplicadas por su respectivo volumen.

3. Para calcular la diferencia existente entre la oferta y demanda, se usa una cola que contiene a los agentes cuya postura no ha sido satisfecha; esta cola está ordenada de manera que el primer agente en ofrecer una postura tiene el derecho a ser atendido antes que los demás. De acuerdo al estado de la cola se pueden realizar las siguientes operaciones:

- Si la postura del agente es neutral, se busca al agente en la cola y se retira su postura. Este caso representa la situación en la cual el agente decide retirar su postura después de un cierto tiempo.
- Si la postura no es neutral y la cola está vacía, se añade al agente.
- Si la postura no es neutral y la cola no está vacía, pero las posturas de los agentes en la cola son las mismas que la del agente que quiere realizar la operación, se busca a este agente en la cola. Si ya está ahí, no se hace nada (lo cual representa que el agente mantiene su postura por otro periodo de tiempo), si no estaba, se añade.
- Si la cola no está vacía y la postura de los agentes en la cola es complementaria a la del agente que quiere realizar la operación, se busca a este último en la cola. Si ya estaba, se quita de la cola y se realiza la operación con el primer agente en ésta (lo cual representa que el agente ha cambiado su postura y ha decidido satisfacer la postura de otro agente), si no estaba en la cola, simplemente se realiza la operación con el primer agente encolado. Al realizar la transacción, se cancelan las posturas de ambos agentes, es decir, ambas posturas pasan a neutral.

3.2.3 El modelo con *market makers*

Como se ha mencionado, los *market makers* son agentes que tienen un papel especial dentro de un mercado financiero. Un *market maker* tiene, simultáneamente, una postura

de compra (*bid*) y una postura de venta (*ask*). El *ask* debe ser mayor que el *bid*, de modo que el market maker compra a un precio dado y vende a un precio mayor, lo cual le proporciona una ganancia. El *montage* es el conjunto de *bids* y *asks* de todos los *market makers*. Cualquier operación se realiza con las mejores posturas del *montage*, es decir, las compras con el mejor *ask*, las ventas con el mejor *bid*. En el NNCP, los pasos a seguir en este modelo son:

1. A cada *tick* se escoge un agente al azar y se obtiene su postura.
2. Se busca en el *montage* al *market maker* que tiene la mejor postura complementaria a la postura del agente (en caso de que ésta no sea neutral) y se realiza la transacción, siempre y cuando el *market maker* esté dispuesto a cubrir todo el volumen requerido por el agente.
3. El precio de la acción no se actualiza usando una ecuación de evolución como en los modelos de doble subasta y órdenes al mercado, sino que el precio corresponde al monto de la última operación. Los *market makers* modifican sus posturas después de haber realizado una operación, de modo que el precio en el siguiente *tick* estará determinado por las posturas de los *market makers*.
4. Se descuenta al *market maker* un costo de operación, el cual representa el pago del derecho a hacer operaciones dentro del mercado.

El hecho de que el precio de la acción sea determinado por las posturas de los *market makers* proporciona un grado de autonomía completo al mercado financiero artificial, de modo que éste evoluciona sin ninguna intervención externa (como lo supone el uso de una ecuación de evolución del precio). Cada *market maker* actualiza sus posturas después de realizar una operación, y los demás son libres de hacer esta actualización después de cualquier operación, lo cual dependerá de la estrategia que estén utilizando. Aquí se ha introducido una característica más a los *market makers*: los *market makers* “nerviosos” no están seguros de sus posturas, de modo que las modifican cada vez que otro *market maker* hace lo mismo, mientras que los *market makers* “tranquilos” tienen un comportamiento opuesto, es decir, sólo actualizan sus posturas después de haber realizado una operación.

3.3 Estrategias para los *market makers*

No existe un mercado financiero artificial basado en agentes y ampliamente divulgado en donde se use un modelo explícito de los *market makers*. En este trabajo presentaremos

algunas estrategias para estos, de modo que, al igual que el resto de los agentes, puedan intentar maximizar sus ganancias. Para manejar las posturas de los *market makers*, supondremos que además del *bid* y *ask* (*pv* y *pc*, respectivamente), cada uno de ellos posee un precio base (*pe*), el cual es utilizado como referencia para poner sus posturas. No resulta trivial modelar una estrategia para un *market maker*, pues estos deben considerar varios factores para determinar sus posturas, tales como: la dinámica del mercado, el volumen óptimo de acciones que deben mantener, las posturas de otros *market makers*, etc. Además, en la práctica, los *market makers* actúan usando estrategias intuitivas, difíciles de caracterizar. Dadas estas dificultades, un buen punto de partida es analizar los resultados de estrategias sencillas de caracterizar, con efectos extremos. Estas estrategias se describen a continuación.

3.3.1 Monopolio

Dado que la ganancia de un *market maker* proviene principalmente del *spread*, es natural suponer que una buena estrategia consiste en aumentar este *spread* lo más que sea posible. Si sólo existe un *market maker* en el mercado, éste tiene el monopolio del mercado y puede aumentar su *spread* de manera arbitraria, pues al ser el único, todas las transacciones se realizan a través de él. Sin embargo, si existe más de un *market maker*, todos deben estar de acuerdo para mantener el monopolio, aumentando siempre su *spread*. Si un *market maker* rompe el pacto, tendrá el mejor *bid/ask*, lo que obligaría a los otros a disminuir su *spread* para conseguir operaciones, y el crecimiento en las ganancias se detendría. Esta estrategia puede ser representada por las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} pc(t+1) &= \alpha pc(t) \\ pv(t+1) &= \beta pv(t) \\ pe(t+1) &= pc(t), pv(t) \end{aligned} \tag{3.16}$$

donde $\alpha < 1$, $\beta > 1$ y *pe* es el precio base del agente. En esta estrategia el agente sólo está interesado en aumentar su *spread*, de modo que sus posturas no dependen del precio base. En la Fig. 3.1 se muestran los resultados de una simulación con 5 agentes, un *market maker* usando esta estrategia, $\alpha = 0.999$ y $\beta = 1.001$ (un aumento de .1% por cada operación); inicialmente todos los agentes y el *market maker* poseen 40 acciones y tienen 600 pesos, mientras que el costo de transacción que paga el agente es de 15 centavos. El volumen de operación es fijo para cada transacción (1 acción por transacción) y los agentes son no informados. Como puede verse en esta figura, el precio de la acción cambia constantemente, debido a que el *spread* aumenta por cada operación, haciendo cada vez mayor la diferencia entre el precio de una operación de compra y una operación de venta.

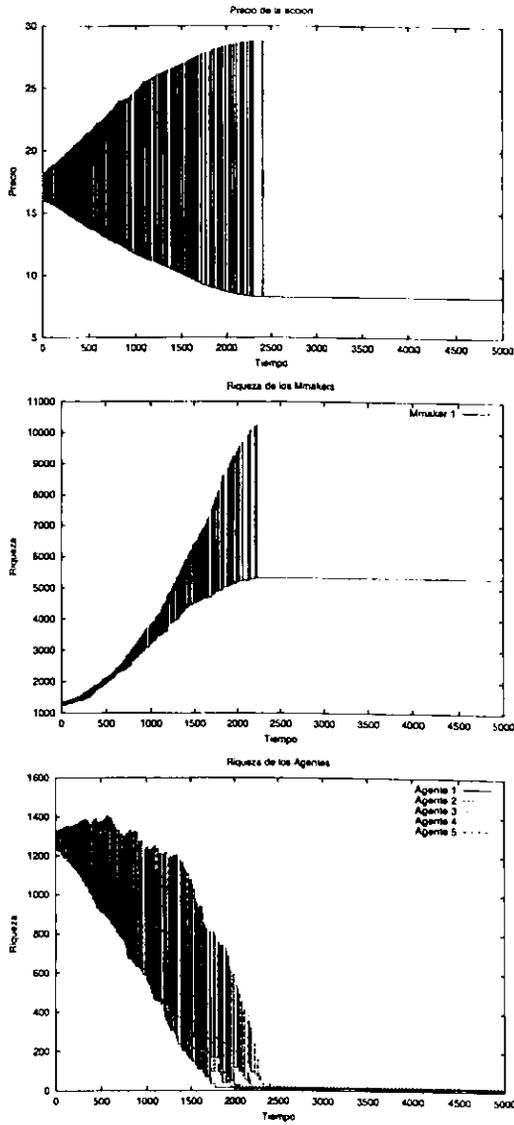


Figura 3.1:

La riqueza del *market maker* aumenta considerablemente, mientras que los agentes pierden todos sus recursos. Esta estrategia produce muy buenos resultados para el *market maker* en un plazo muy corto, sin embargo, el mercado se agota rápidamente; en cierto sentido, los *market makers* son parásitos que dependen de un organismo (en este caso, el mercado) y por lo tanto, la "muerte" del mercado se traduce en un perjuicio para ellos. En el caso de que varios *market makers* utilicen esta estrategia, la riqueza de todos ellos aumenta de forma constante, aunque la ganancia es menor mientras mayor sea el número de *market makers*. En la práctica existen medidas regulativas para evitar que los *market makers* monopolicen de esta manera el mercado, y la principal de ellas consiste en fijar un límite máximo al *spread*.

3.3.2 Competencia extrema

En el extremo opuesto al monopolio está la competencia. Un *market maker* puede decidir que aumentar siempre su *spread* es una mala estrategia, pues esto reduce sus posibilidades de realizar una operación; de este modo, decide colocar sus posturas dentro del *spread* de todos los demás *market makers*, ofreciendo así el mejor *bid/ask* y quedándose con todas las transacciones. Si existen dos o más *market makers* usando esta estrategia, la competencia hará que el *spread* se reduzca al mínimo. Esta estrategia puede modelarse con la Ec. 3.16, pero con $\alpha > 1$ y $\beta < 1$. En la Fig. 3.2 se muestran los resultados de esta estrategia. Los parámetros son los mismos que en el ejemplo anterior, pero ahora existen dos *market makers* competitivos. Como puede observarse, el *spread* se reduce a 0, manteniendo el precio de la acción constante durante un corto periodo de tiempo, al final del cual los *market makers* ya no pueden sostener esa postura y empiezan a oscilar; cerca del *tick* 3500, uno de los *market makers* deja de tener recursos para ofrecer sus posturas, de modo que el otro *market maker* realiza todas las operaciones del mercado, hasta que sus recursos disminuyen hasta el punto en que sus posturas pueden ser nuevamente alcanzadas por el primer *market maker*. La riqueza de los *market makers* aumenta mientras el *spread* tiene un valor mayor al costo de operación, para después disminuir constantemente; esto implica que debe existir un límite mínimo en el *spread* para que los *market makers* puedan cubrir el costo de operación. La riqueza de los agentes no tiene grandes variaciones pues el precio permanece constante cuando el *spread* se reduce al mínimo.

3.3.3 Aleatoria

Las dos estrategias anteriores son extremistas: la primera provee grandes ganancias para los *market makers*, pero agota el mercado rápidamente, mientras que la segunda no provee

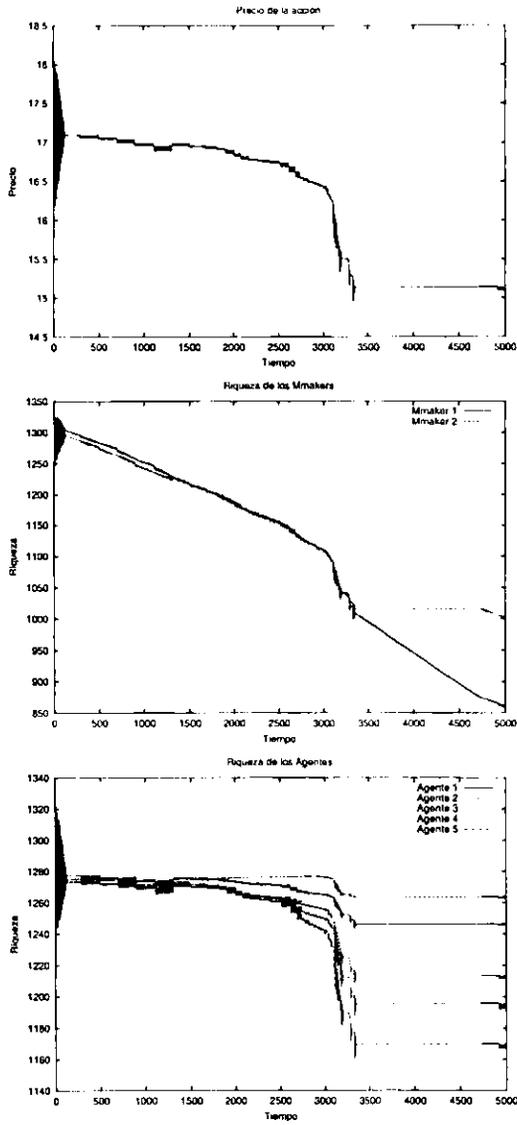


Figura 3.2:

ninguna ganancia. La siguiente estrategia a probar consiste en que el *market maker* escoge aleatoriamente su *bid/ask*, manteniéndolos siempre dentro de un *spread* máximo. Esta estrategia puede entenderse como una combinación de las anteriores, con valores de actualización (α, β) variables. Las ecuaciones son las siguientes:

$$\begin{aligned} pe(t+1) &= p(t) \\ pc(t+1) &= pe(t+1)[1 + (|\alpha|/100)] \\ pv(t+1) &= pe(t+1)[1 - (|\beta|/100)], \end{aligned} \quad (3.17)$$

donde $p(t)$ es el precio de la última operación, y α, β son dos números aleatorios, que en este caso representan el porcentaje del *spread* con respecto al precio de equilibrio. En la Fig. 3.3 se muestran los resultados de esta estrategia. Los parámetros son los mismos que en los ejemplos anteriores, y se usó un solo *market maker*. El precio de la acción fluctúa en forma aleatoria, de modo que la riqueza del *market maker* y de los agentes también cambia en forma aleatoria. A diferencia de las estrategias anteriores, este comportamiento si corresponde (en alguna medida) al de un mercado racional.

3.3.4 Manejo de inventario

Una de las preocupaciones principales de los *market makers* es mantener un inventario de acciones que le permita permanecer en el mercado. Dado esto, una estrategia a seguir por un *market maker* puede ser poner posturas en forma aleatoria mientras su inventario está dentro de un límite aceptable, y poner posturas agresivas (de competencia extrema) cuando su inventario ha disminuido demasiado (si tiene pocas acciones o poco dinero). Esta estrategia consiste en comparar el inventario actual con un inventario ideal, y escoger una postura aleatoria o agresiva de acuerdo a la diferencia entre estos dos inventarios. En el NNCP se realiza la elección tomando un número aleatorio como el umbral de decisión. En la Figura 3.4 se muestra una simulación con 2 *market makers*, en donde uno usa una estrategia aleatoria y el otro maneja su inventario y el resto de los parámetros son los que se han venido utilizando. En estas simulaciones, los *market makers* no tienen retroalimentación de los inversionistas, por lo tanto, si sólo existe un *market maker* con estrategia de inventario, esta estrategia no le será útil pues los inversionistas realizan sus operaciones en forma aleatoria. Por esta razón se ha incluido un *market maker* aleatorio en este ejemplo. Como puede observarse, el *market maker* con la estrategia de inventario intenta mantener su número de acciones en 40 (el número inicial), pero la riqueza de ambos *market makers* es similar a lo largo de toda la simulación. Ambos *market makers* pierden su riqueza pues el *spread* en promedio no es suficiente para solventar el costo de operación.

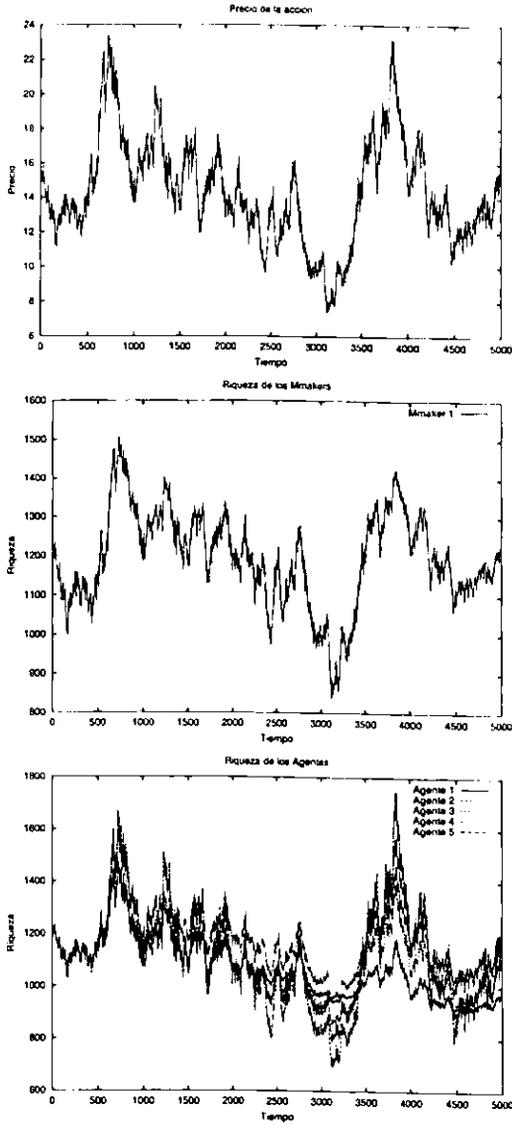


Figura 3.3:

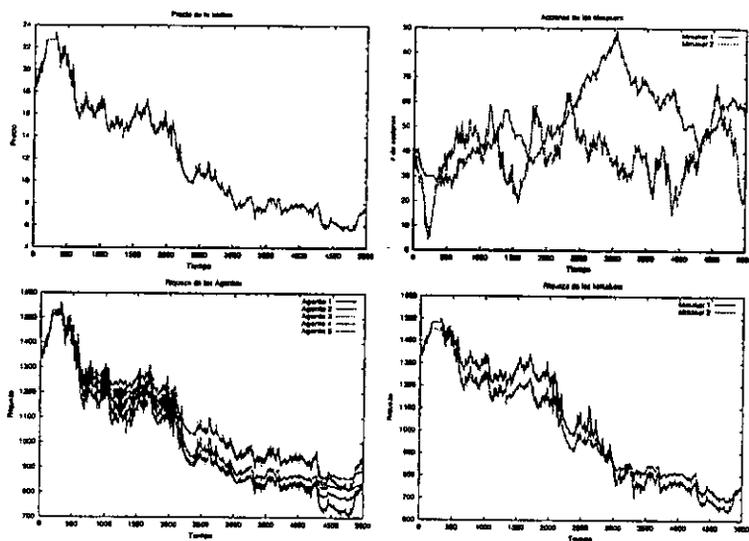


Figura 3.4: El market maker 2 usa una estrategia de inventario

Capítulo 4

Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en una serie de experimentos realizados en el NNCP. El objetivo de estos experimentos es comparar la eficiencia de los 4 modelos de organización descritos en la sección anterior: doble subasta entre mejores, doble subasta entre iguales, órdenes al mercado y con *market makers*, así como observar los efectos de la existencia de información en el mercado y de los diferentes usos de ésta. La comparación se lleva a cabo usando los siguientes parámetros:

- Ganancias de los participantes.
- Volumen de transacciones realizadas, lo cual representa la liquidez del mercado.
- Volatilidad del precio, medida a través de la desviación estándar en los rendimientos.

Los rendimientos están definidos por

$$G_{\Delta t}(t) = \ln(p(t + \Delta t)) - \ln(p(t)), \quad (4.1)$$

donde Δt es un periodo dado. Las ganancias se han medido con respecto al *benchmark* proporcionado por la estrategia *buy and hold*¹ y están dadas por

$$Ga = (E(t) + H(t) * p(t)) - (E(0) + H(0) * p(t)), \quad (4.2)$$

donde Ga es la ganancia relativa del agente, $E(t)$ y $H(t)$ son la cantidad de efectivo y el número de acciones que posee al tiempo t , respectivamente.

¹la riqueza del agente si no hubiera realizado ninguna transacción

Los experimentos se dividen en dos conjuntos principales: modelos sin *market makers* y modelos con *market makers*. A continuación se describen y presentan los resultados de cada uno de los experimentos.

4.1 Modelos sin especialistas

4.1.1 Mercados sin información

En este conjunto de experimentos se obtuvieron resultados para los modelos de doble subasta (entre mejores y entre iguales) y para órdenes al mercado. En todos los experimentos se usaron 20 agentes no informados y las simulaciones transcurrieron durante un periodo de 250 días. En los modelos con subasta se realizaron 30 subastas por día, para un total de 7500 subastas, y el valor de η para la actualización del precio (Ec. 3.12) fue 0.05. En el modelo de órdenes al mercado, existieron 200 *ticks* por cada día de simulación, es decir, un promedio de 10 operaciones al día por cada agente, y en la actualización del precio (Ec. 3.15) se usó un valor de η igual a 0.0001. Los valores de η son diferentes pues la oferta y demanda se calcula de manera diferente en cada modelo: en las subastas, es una relación entre las posturas de los agentes y el precio en el mercado, mientras que en las órdenes al mercado es un conteo del número de agentes que sostienen una postura². Por cada modelo se realizaron experimentos con incrementos en el precio de la acción (r) de 7, 50 y 100%.

Los resultados promedio de un conjunto de 5 simulaciones se muestran en la Tabla 4.1. Los datos en la tabla indican que en el modelo de doble subasta entre mejores se realizan aproximadamente 3 transacciones por subasta, en la doble subasta entre iguales el número de transacciones es de apenas una por cada 50 subastas y en el de órdenes al mercado una transacción cada 5 *ticks* (equivalentes a 4 operaciones por subasta). La volatilidad es mayor en el modelo entre iguales, lo cual se debe a que existe una mayor cantidad de oferta y demanda no satisfechas. Aunque en términos absolutos la volatilidad en la doble subasta entre iguales es 4 veces mayor que en la doble subasta entre mejores, la relación Vol/VP es de 3 órdenes de magnitud mayor: en aquel modelo hay una gran volatilidad entre cada operación. La volatilidad en el modelo de órdenes al mercado es muy pequeña comparada con las otras dos en términos absolutos, ya que en este modelo la oferta y demanda cambia en forma gradual, pues a cada *tick* solamente un agente actualiza su postura, mientras que en las subastas todos los agentes actualizan sus posturas; la volatilidad por operación (Vol/VP), en cambio, es solamente entre 3 y 4

²El apéndice A muestra los efectos de las variaciones de este parámetro

Exp	TASA	VP	Vol	GMax	GMin	Vol/VP
iguales	100	164.000	0.001774	190.962	-31.056	29.1098
iguales	50	181.200	0.009893	84.615	-6.570	54.5971
iguales	7	179.000	0.008283	52.547	-5.468	46.2737
mejores	100	22407.200	0.001539	414.384	-119.972	0.0686833
mejores	50	22516.000	0.001862	190.952	-51.126	0.0826967
mejores	7	22632.600	0.002167	139.932	-68.040	0.0957468
morders	100	13546.000	0.000275	253.168	-99.430	0.0203012
morders	50	13588.800	0.000277	314.239	-65.206	0.0203844
morders	7	13673.800	0.000274	234.352	-72.531	0.0200383

Tabla 4.1: Gmax= Ganancia máxima, Gmin=Pérdida máxima, Vp=Volumen de transacción, Vol=Volatilidad, TASA=Tasa de incremento (r) y Vol/VP= Volatilidad por operación.

veces menor que la de subasta entre mejores. En la subasta entre iguales, la volatilidad no tiene una relación directa con la tasa de incremento del precio, mientras que en la subasta entre mejores la volatilidad es mayor conforme menor es el incremento y con órdenes al mercado es prácticamente constante. La relación en el modelo de subasta entre mejores se debe a un factor geométrico en el cálculo de la volatilidad: mientras mayor es la pendiente en el precio, menores son los efectos de las variaciones alrededor del precio promedio; en la subasta entre iguales esta relación no se cumple debido al escaso número de operaciones, mientras que en las órdenes al mercado la causa es la escasa variación entre un precio y otro. Las ganancias y pérdidas máximas son mayores para las órdenes al mercado, seguidas por la doble subaste entre mejores. Lo anterior se debe al mayor número de operaciones que se realizan: un número mayor de operaciones es, en un sentido, un camino aleatorio más extendido. En los tres casos, la ganancia promedio es 0, debido a que cualquier ganancia de un agente representa una pérdida de la misma magnitud para otro. Por último, en los modelos con subasta las ganancias aumentan conforme aumenta la tasa de incremento, pero en las órdenes al mercado no se muestra esta tendencia.

El efecto más notorio del modelo de organización en el comportamiento del mercado es el volumen de operaciones, lo cual se debe a las restricciones que cada modelo impone: la doble subasta entre iguales sólo permite operaciones entre agentes que tienen una misma apreciación en el precio, la doble subasta entre mejores permite operaciones entre agentes con posturas satisfactorias, es decir, la condición es que la postura de compra sea mayor que la de venta, mientras que en las órdenes al mercado la única condición es que un agente quiera comprar y el otro quiera vender. La volatilidad en cada uno de los modelos está relacionada con estas restricciones: mientras más difícil es realizar una operación, mayor es la volatilidad existente por cada transacción.

Experimento	Descripción
Espec	Todos los agentes son especuladores (plazo=1 día)
Pasivos	Todos los agentes son pasivos (plazo=1 mes)
LP	Todos los agentes son de largo plazo (plazo=6 meses)
HetInf	Combinación de agentes de distintos tipos (especuladores, pasivos y de largo plazo) y plazos (1, 7 y 14 días para los especuladores, 1, 2 y 3 meses para los pasivos)
HetNoInf	Existen 13 agentes aleatorios sin información y 7 agentes informados de diferentes tipos y plazos
EspecNoInf	2 agentes especuladores y 18 no informados
PasivNoInf	2 agentes pasivos y 18 no informados
LPNoInf	2 agentes de largo plazo y 18 no informados

Tabla 4.2: Descripción de los experimentos de mercados con información. En el experimento *HetInf* existen 3 agentes de cada tipo y plazo, a excepción de los pasivos de 3 meses, de los cuales sólo existen 2. En el experimento *HetNoInf*, existe un agente informado de cada tipo y plazo

4.1.2 Efectos de la información

Para observar el efecto de la información, se hicieron varias pruebas en las cuales se combinan diferentes tipos de agentes (informados y no informados) y diferentes tasas de incremento en el precio de la acción, de manera que existe una señal que puede ser claramente distinguida del ruido y que los agentes informados deben identificar. Estas combinaciones incluyen simulaciones de mercados homogéneos, es decir, todos los agentes usan de la misma manera la información, y mercados heterogéneos. Los parámetros son los mismos que en las simulaciones anteriores. La Tabla 4.2 describe los experimentos, los indicadores del mercado se muestran en las Tablas 4.3-4.5 y las ganancias por tipo de agente se muestran en las Tablas 4.6-4.8.

En el modelo de subasta entre iguales podemos observar lo siguiente: en los experimentos *Espec* y *EspecNoInf*, el volumen de operación es similar al del mercado sin información; esto se debe a que los especuladores tienen un comportamiento parecido al de los agentes no informados, y entre menor es la tasa de incremento en el precio, mayor es esta similitud. En los experimentos *HetNoInf*, *PasivNoInf* y *LPNoInf*, el volumen de operación es ligeramente menor pues estos tipos de agentes informados proveen poca liquidez al mercado. Este hecho se corrobora en los experimentos *Pasivos* y *LP*: en ambos casos el volumen de operación es 0. En el caso de los agentes pasivos, esto se debe a la aversión al riesgo de estos agentes, de modo que difícilmente dos agentes coinciden en la misma subasta; en el caso de los agentes de largo plazo, todos desean realizar operaciones de compra y no hay

Exp	TASA	VP	Vol	GMax	GMin	Vol/VP
Espec	100	182.400	0.003973	239.295	-104.188	21.7818
Espec	50	177.800	0.007326	65.910	-8.572	41.2036
Espec	7	174.200	0.005432	57.502	-8.458	31.1825
Pasivos	100	0.000	0.000239	0.000	0.000	-
Pasivos	50	0.000	0.000302	0.000	0.000	-
Pasivos	7	0.000	0.000342	0.000	0.000	-
LP	100	0.000	0.001759	0.000	0.000	-
LP	50	0.000	0.001734	0.000	0.000	-
LP	7	0.000	0.001733	0.000	0.000	-
HetInf	100	39.000	0.001174	1449.717	-1167.542	30.1026
HetInf	50	42.400	0.001219	969.638	-176.619	28.75
HetInf	7	39.400	0.001488	110.861	-38.502	37.7665
HetNoInf	100	117.600	0.001938	778.726	-107.661	16.4796
HetNoInf	50	119.000	0.002151	422.692	-26.537	18.0756
HetNoInf	7	111.600	0.004122	46.319	-1.485	36.9355
EspecNoInf	100	175.400	0.004460	254.459	-72.786	25.4276
EspecNoInf	50	177.000	0.006383	72.551	-28.864	36.0621
EspecNoInf	7	164.000	0.012067	68.552	-26.211	73.5793
PasivNoInf	100	141.600	0.004927	139.413	-97.586	34.7952
PasivNoInf	50	152.600	0.008515	43.295	-9.257	55.7995
PasivNoInf	7	134.600	0.008092	90.835	-28.935	60.1189
LPNoInf	100	153.800	0.001741	1205.834	-88.436	11.3199
LPNoInf	50	142.400	0.001834	433.480	-114.701	12.8792
LPNoInf	7	149.600	0.003019	50.399	-29.478	20.1805

Tabla 4.3: Modelo de subasta entre iguales. Resultados generales

nadie que provea liquidez al mercado. En el experimento *HetInf* el volumen de operación es mucho menor con respecto al mercado sin información. La volatilidad en este modelo no presenta patrones regulares: en los experimentos *Espec*, *LP* y *PasivNoInf*, tiene un patrón similar al del mercado sin información, con una alza en el experimento con tasa de incremento del 50%, mientras que en el resto de los experimentos parece aumentar conforme dicha tasa disminuye; son notables los casos *EspecNoInf*, *LPNoInf* y *HetNoInf*: la volatilidad aumenta al doble con una tasa del 7% con respecto a la volatilidad con la tasa del 50%. En el experimento *Pasivos* la volatilidad es de un orden de magnitud menor, lo cual se debe a la poca oferta y demanda generada por estos agentes, mientras que en *LP* existe una volatilidad significativa a pesar de no haberse realizado ninguna operación, debido a que los agentes generan una demanda en su deseo de comprar ac-

Exp	TASA	VP	Vol	GMax	GMin	Vol/VP
Espec	100	22492.600	0.001501	477.493	-75.085	0.0667331
Espec	50	22543.800	0.001767	246.640	-94.654	0.0783808
Espec	7	22575.200	0.002098	133.575	-48.786	0.0929338
Pasivos	100	1.200	0.000244	20.993	-13.427	203.333
Pasivos	50	1.000	0.000282	6.883	-6.335	282
Pasivos	7	0.200	0.000373	0.375	-0.375	1865
LP	100	0.000	0.001747	0.000	0.000	-
LP	50	0.000	0.001755	0.000	0.000	-
LP	7	0.000	0.001758	0.000	0.000	-
HetInf	100	9053.200	0.001208	983.324	-735.572	0.133433
HetInf	50	9140.600	0.001699	212.144	-74.086	0.185874
HetInf	7	9170.400	0.002542	111.231	-81.507	0.277196
HetNoInf	100	17548.800	0.001508	554.973	-209.650	0.0859318
HetNoInf	50	17680.200	0.001822	242.103	-143.668	0.103053
HetNoInf	7	17734.200	0.002078	140.695	-46.882	0.117175
EspecNoInf	100	22412.200	0.001534	389.382	-88.524	0.0684449
EspecNoInf	50	22536.600	0.001897	194.145	-70.792	0.0841742
EspecNoInf	7	22561.800	0.002286	135.395	-74.283	0.101322
PasivNoInf	100	19995.200	0.001646	391.655	-50.576	0.0823198
PasivNoInf	50	20119.600	0.001922	236.845	-99.757	0.0955287
PasivNoInf	7	20303.000	0.002312	122.359	-23.607	0.113875
LPNoInf	100	20099.800	0.001533	446.265	-81.263	0.0762694
LPNoInf	50	20119.000	0.001825	231.734	-132.298	0.0907103
LPNoInf	7	20181.000	0.002282	135.353	-34.483	0.113077

Tabla 4.4: Subasta entre mejores. Resultados generales

ciones. Las ganancias máximas cambian con respecto a la tasa de incremento, tal como es de esperarse. En los experimentos *Espec* y *EspecNoInf*, las ganancias son mayores que en el caso del mercado sin información; sin embargo, en este último se muestra que no necesariamente las ganancias son para los especuladores, que son los agentes que poseen información. Los agentes de largo plazo siempre obtienen mayores ganancias, las cuales en promedio son mayores mientras mayor sea el número de agentes no informados que intervenga en el experimento, aunque las ganancias máximas son mayores cuando no hay agentes no informados; esto último se debe a que al no existir agentes no informados, los agentes de largo plazo no pueden satisfacer su demanda, de modo que empujan el precio hacia arriba. Los agentes pasivos no obtienen ganancias, lo cual se debe a su poca participación en el mercado.

Exp	TASA	VP	Vol	GMax	GMin	Vol/VP
Espec	100	13455.600	0.000277	470.065	-179.764	0.0205862
Espec	50	13630.600	0.000280	212.224	52.520	0.020542
Espec	7	13667.400	0.000275	176.965	-67.349	0.0201209
Pasivos	100	0.000	0.000008	0.000	0.000	-
Pasivos	50	0.000	0.000006	0.000	0.000	-
Pasivos	7	0.000	0.000007	0.000	0.000	-
LP	100	0.000	0.000367	0.000	0.000	-
LP	50	0.000	0.000368	0.000	0.000	-
LP	7	0.000	0.000369	0.000	0.000	-
HetInf	100	5371.800	0.000195	1035.418	-444.440	0.0363007
HetInf	50	5475.000	0.000195	195.054	-125.982	0.0356164
HetInf	7	5518.800	0.000191	118.413	-98.157	0.034609
HetNoinf	100	10534.200	0.000247	327.643	-120.582	0.0234474
HetNoinf	50	10655.600	0.000247	212.280	-21.689	0.0231803
HetNoinf	7	10649.400	0.000248	236.377	-59.492	0.0232877
EspecNoinf	100	13512.200	0.000277	312.605	-46.244	0.0205
EspecNoinf	50	13622.800	0.000279	134.995	-50.814	0.0204804
EspecNoinf	7	13669.200	0.000275	168.003	-68.045	0.0201182
PasivNoinf	100	12102.800	0.000262	278.013	-106.050	0.0216479
PasivNoinf	50	12165.600	0.000263	176.910	-88.168	0.0216183
PasivNoinf	7	12145.200	0.000261	234.763	-71.668	0.02149
LPNoinf	100	12086.000	0.000266	353.500	-71.617	0.0220089
LPNoinf	50	12085.600	0.000266	137.229	-90.648	0.0220097
LPNoinf	7	12143.200	0.000263	280.045	-98.693	0.0216582

Tabla 4.5: Ordenes al mercado. Resultados generales

El modelo de doble subasta entre mejores tiene resultados similares, en cuanto a la proporción del volumen de operación de cada experimento con respecto al mercado sin información: ambos volúmenes son similares cuando existe un número significativo de agentes no informados; sin embargo, en la volatilidad los resultados son completamente diferentes: con este modelo, la volatilidad siempre aumenta conforme disminuye la tasa de incremento del precio, y se mantiene en rangos constantes en todos los experimentos, con excepción de *Pasivos* y *LP*. Las ganancias promedio para los especuladores son mejores en este modelo que para los no informados, debido a que ahora si tienen la oportunidad de adquirir acciones y por lo tanto, aprovechan la información que poseen; los agentes pasivos logran obtener alguna ganancia, aunque sigue siendo muy pequeña. Los agentes de largo plazo siguen teniendo las mejores ganancias, aunque ahora son menores que

Exp	TASA	G1	G7d	G14d	G1m	G2m	G3m	G6m	Gnoinf
HetInf	100	-391.832	-375.291	-172.659	0.000	0.000	0.000	939.782	0.000
HetInf	50	-180.500	-250.394	-251.454	0.000	0.000	0.000	682.349	0.000
HetInf	7	-23.147	-35.834	-19.042	0.000	0.000	0.000	78.023	0.000
HetNoInf	100	-333.920	75.099	-154.566	0.000	0.000	0.000	772.348	-27.612
HetNoInf	50	-181.647	-76.321	46.419	0.000	0.000	0.000	422.279	-16.210
HetNoInf	7	-20.492	-0.160	9.535	0.000	0.000	0.000	10.773	0.027
EspecNoInf	100	38.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-4.229
EspecNoInf	50	-6.814	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.757
EspecNoInf	7	20.989	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.332
PasivNoInf	100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000
PasivNoInf	50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000
PasivNoInf	7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
LPNoInf	100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	911.218	-101.247
LPNoInf	50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	391.915	-43.546
LPNoInf	7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	20.422	-2.269

Tabla 4.6: Subasta entre iguales. Ganancias por tipo de agente en los mercados heterogéneos.

Exp	TASA	G1	G7d	G14d	G1m	G2m	G3m	G6m	Gnoinf
HetInf	100	-737.251	-469.342	241.008	-11.984	0.000	0.000	977.570	0.000
HetInf	50	-204.496	-35.723	90.198	-3.576	0.000	0.000	153.598	0.000
HetInf	7	-27.008	-10.320	33.124	3.792	0.000	0.000	0.413	0.000
HetNoInf	100	-50.999	304.347	449.597	3.932	0.000	0.000	518.172	-94.235
HetNoInf	50	24.705	89.700	194.418	0.790	0.000	0.000	87.638	-30.558
HetNoInf	7	14.109	24.722	89.125	-0.173	0.000	0.000	8.720	-10.500
EspecNoInf	100	-73.411	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.157
EspecNoInf	50	-30.184	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.354
EspecNoInf	7	-1.508	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.167
PasivNoInf	100	0.000	0.000	0.000	-5.603	0.000	0.000	0.000	0.623
PasivNoInf	50	0.000	0.000	0.000	0.970	0.000	0.000	0.000	-0.108
PasivNoInf	7	0.000	0.000	0.000	-0.524	0.000	0.000	0.000	0.058
LPNoInf	100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	432.292	-48.033
LPNoInf	50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	82.338	-9.149
LPNoInf	7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.023	-0.114

Tabla 4.7: Subasta entre mejores. Ganancias por tipo de agente en los mercados heterogéneos.

Exp	TASA	G1	G7d	G14d	G1m	G2m	G3m	G6m	Gnoinf
HetInf	100	-832.044	-372.150	180.792	-1.065	0.000	0.000	1027.466	0.000
HetInf	50	-73.031	-59.609	0.855	-0.944	0.000	0.000	132.729	0.000
HetInf	7	4.228	34.975	-39.748	0.606	0.000	0.000	-0.061	0.000
HetNoinf	100	-36.417	176.368	75.009	0.000	0.000	0.000	309.599	-40.351
HetNoinf	50	-17.819	88.553	-46.463	1.012	0.000	0.000	49.007	-5.715
HetNoinf	7	131.305	7.038	-21.990	1.687	0.000	0.000	2.291	-9.256
EspecNoinf	100	112.424	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-12.491
EspecNoinf	50	3.586	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.398
EspecNoinf	7	45.421	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-5.047
PasivNoinf	100	0.000	0.000	0.000	-0.781	0.000	0.000	0.000	0.087
PasivNoinf	50	0.000	0.000	0.000	-0.168	0.000	0.000	0.000	0.019
PasivNoinf	7	0.000	0.000	0.000	2.499	0.000	0.000	0.000	-0.277
LPNoinf	100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	336.833	-37.426
LPNoinf	50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.667	-3.407
LPNoinf	7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.257	-1.029

Tabla 4.8: Órdenes al mercado. Ganancias por tipo de agente en los mercados heterogéneos.

en el caso de la subasta entre iguales; aunque este resultado parece contradecir al del mercado sin información, en donde las ganancias máximas son mayores en la subasta entre mejores, la explicación es que en la subasta entre iguales, los agentes de largo plazo generan una demanda mayor pues el reducido volumen de operación no les permite adquirir rápidamente las acciones que desean.

En el modelo de órdenes al mercado se observan resultados similares a los de las subastas en cuanto al volumen de operación, pero la volatilidad muestra diferencias: ahora la volatilidad es constante en todos los experimentos con respecto a la tasa de incremento del precio e , incluso, en todos los experimentos es del mismo orden, con excepción de los experimentos *Pasiv*, *LP* y *HetInf*. Las ganancias de los especuladores son mejores que las de los no informados en los experimentos que combinan varios tipos de agentes, pero no son mejores en el experimento *EspecNoinf*: los agentes pasivos siguen sin conseguir ganancias significativas, mientras que los agentes de largo plazo tienen menores ganancias que en el caso de la subasta entre mejores, con la excepción del experimento *HetInf*; en este último caso estos agentes tienen muy buenas ganancias con un incremento del 100%, pero tienen pérdidas con el incremento del 7%.

En general, la existencia de información introduce mayor volatilidad en el mercado. En los experimentos *HetInf*, la volatilidad es mayor en los modelos de órdenes al mercado y subasta entre mejores con respecto a los experimentos sin información; esto

es de esperarse pues la demanda de acciones es mayor y no existe la liquidez suficiente para cubrirla, como lo muestra el menor volumen de operación en los experimentos con información. En el modelo de subasta entre iguales no se aprecia este efecto, debido a que incluso sin información la liquidez es insuficiente. Los agentes de largo plazo siempre tienen las mejores ganancias, las cuales son mayores en mercados heterogéneos con información en los modelos con mayor liquidez. La existencia de agentes no informados reduce las ganancias de los agentes de largo plazo: las mayores ganancias en mercados sin agentes no informados se deben a la poca liquidez del mercado, lo que incrementa considerablemente el precio de la acción. Los agentes pasivos no obtienen ganancias significativas, ya que su aversión al riesgo es demasiada. Los especuladores siempre tienen pérdidas con respecto a los de largo plazo: su uso de la información no es adecuado, además de que el ruido en el mercado es demasiado grande. Este ruido puede apreciarse en la Tabla 4.1: un agente no informado puede tener ganancias de hasta 490 en el modelo de subasta entre mejores.

4.1.3 Adaptación

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de un algoritmo genético simplificado: el objetivo es aplicar la selección para obtener la mejor estrategia en un periodo dado. La estrategia obtenida es adoptada por un número limitado de agentes. La selección se realiza mediante una ruleta, en donde la medida de adaptabilidad es la riqueza obtenida durante el periodo de evaluación (Ec. 4.2). Existen dos variantes para la selección:

1. La población evaluada para la selección está constituida por los agentes que participan en el mercado, de modo que el agente que es adaptado copia la estrategia del agente seleccionado. Este tipo de agente evolutivo es denominado *plagiador*.
2. La población evaluada para la selección consiste en un conjunto de reglas, cuyos resultados son evaluados por el agente evolutivo. Este agente adopta la regla que mejores resultados haya obtenido en el periodo de evaluación, y es denominado *analista*.

El plagiador sólo puede copiar una estrategia si existe algún agente en el mercado que la esté utilizando, mientras que el analista puede escoger cualquiera de las estrategias posibles (especulador, pasivo, de largo plazo o aleatorio). Se han realizado tres tipos de experimentos distintos: en el primero, dos de los agentes en el mercado son plagiadores; en el segundo tipo de experimento, existe en el mercado un agente analista; el tercer experimento consiste en un mercado con sólo agentes plagiadores. El objetivo de los dos

Experimento	Descripción
EspecNoinf	4 agentes especuladores y 14 no informados
PasivNoinf	4 agentes pasivos y 14 no informados
LPNoinf	4 agentes de largo plazo y 14 no informados
HetInf	3 agentes especuladores con plazo de 1 día, 3 con plazo de 7 días, 2 con plazo de 14 días, 3 pasivos con plazo de 1 mes, 2 con plazo de 2 meses, 2 con plazo de 3 meses y 3 de largo plazo
HetNoinf	9 agentes no informados, 3 especuladores con plazo de 1 día, 2 de largo plazo y 1 de cada uno de los demás tipos

Tabla 4.9: Descripción de los experimentos con agentes plagiadores. Cada experimento incluye 2 agentes de este tipo.

primeros tipos de experimentos es observar el éxito de estos dos modelos de adaptación, mientras que el tercer tipo tiene como finalidad observar los efectos de la homogeneización del mercado. Los parámetros son los mismos que en los experimentos de las secciones anteriores, y se han utilizado dos tasas de incremento: 100% y 7%. La evolución se realiza en periodos fijos, y un parámetro añadido a estos experimentos es la frecuencia de evolución; el resultado de la adaptación puede depender fuertemente de este parámetro, pues si la aplicación del algoritmo genético es demasiado frecuente, habrá poca distinción entre los agentes más exitosos, y si es aplicado sólo durante periodos largos, un agente podría aprender una estrategia que ya no es útil para obtener ganancias.

La Tabla 4.9 muestra las distribuciones de cada tipo de agente en los diferentes experimentos realizados, mientras que en las Tablas 4.10-4.12 se muestran los resultados. En estas tablas se muestra la ganancia de los dos agentes plagiadores, los cuales inicialmente son agentes sin información, las ganancias promedio de los agentes de largo plazo (la mejor estrategia, según los resultados de la sección anterior), las ganancias promedio del resto de los agentes informados, las de los no informados y la ganancia relativa de los agentes plagiadores. Esta ganancia relativa es la diferencia entre la ganancia promedio de los plagiadores y la ganancia promedio de los demás agentes, excepto los de largo plazo.

La Tabla 4.10 contiene los resultados para el modelo de subasta entre iguales; en términos de ganancia absoluta, estos resultados no muestran una ganancia sistemática para los plagiadores, de modo que pueden ganar o perder no importando la tasa de incremento aplicada ni la frecuencia de adaptación; el resultado más representativo es el del último experimento, el cual combina agentes de largo plazo con agentes no informados; en la sección anterior se mostró que en este caso los agentes de largo plazo obtienen ganancias cuando la tasa de incremento es del 100%, lo cual no sucede con los agentes

Exp	PG	TASA	P0	P1	Inf	LP	Noinf	Grel
HetInf	1día	100	54.445	384.893	-251.579	1111.447	0.000	471.248
HetInf	1día	7	89.642	-34.789	-40.2883	183.157	0.000	67.7148
HetInf	1mes	100	-337.039	390.501	-284.465	1404.502	0.000	311.196
HetInf	1mes	7	24.399	11.190	-28.6954	131.614	0.000	46.4899
HetInf	6meses	100	474.080	-755.473	-216.637	1176.981	0.000	75.9402
HetInf	6meses	7	11.977	-44.530	-14.1852	81.777	0.000	-2.0913
HetNoInf	1día	100	-167.410	472.776	136.188	1056.079	-198.052	183.615
HetNoInf	1día	7	49.275	-30.439	11.5132	97.754	-16.879	12.1009
HetNoInf	1mes	100	94.722	309.791	10.6412	1273.534	-158.354	276.113
HetNoInf	1mes	7	-10.856	29.014	2.6685	92.463	-11.512	13.5008
HetNoInf	6meses	100	-107.597	-122.903	176.81	1252.128	-189.317	-108.996
HetNoInf	6meses	7	38.188	-0.759	0.259167	33.704	-6.608	21.8889
EspecNoInf	1día	100	23.692	-53.878	24.8665	0.000	-4.330	-26.3613
EspecNoInf	1día	7	5.657	-1.847	0.7515	0.000	-0.426	1.74225
EspecNoInf	1mes	100	-68.380	-22.718	9.1145	0.000	3.415	-51.8137
EspecNoInf	1mes	7	-5.266	6.033	-6.36375	0.000	1.543	2.79387
EspecNoInf	6meses	100	41.972	21.193	8.05275	0.000	-5.961	30.5366
EspecNoInf	6meses	7	14.421	-4.226	0.38725	0.000	-0.734	5.27088
PasivNoInf	1día	100	-28.036	-35.845	-2.28175	0.000	4.563	-33.0811
PasivNoInf	1día	7	10.513	3.249	0.0595	0.000	-0.875	7.28875
PasivNoInf	1mes	100	37.277	23.868	3.51775	0.000	-4.701	31.1641
PasivNoInf	1mes	7	-2.655	3.683	0.035	0.000	-0.073	0.533
PasivNoInf	6meses	100	-36.374	-26.669	-2.83525	0.000	4.649	-32.4284
PasivNoInf	6meses	7	-7.661	10.971	0.3525	0.000	-0.295	1.62625
LPNoInf	1día	100	94.343	1.889	0	1438.948	-418.001	257.116
LPNoInf	1día	7	-33.166	110.072	0	146.989	-47.490	62.198
LPNoInf	1mes	100	74.236	-279.007	0	1137.305	-310.318	52.7735
LPNoInf	1mes	7	49.589	-19.161	0	106.507	-32.604	31.516
LPNoInf	6meses	100	-157.846	-296.062	0	913.533	-228.587	-112.661
LPNoInf	6meses	7	7.585	-55.046	0	82.164	-20.085	-13.688

Tabla 4.10: Subasta entre iguales, resultados con 2 agentes *plagiadores*: P0 y P1. PG es la frecuencia de aplicación del algoritmo genético y Grel es la ganancia relativa de los agentes *plagiadores*.

Exp	PG	TASA	P0	P1	Inf	LP	Noinf	Grel
HetInf	1día	100	1054.058	974.109	-339.558	1021.735	0.000	1353.64
HetInf	1día	7	117.630	73.576	-15.3185	12.857	0.000	110.921
HetInf	1mes	100	542.654	635.718	-291.082	1062.618	0.000	880.268
HetInf	1mes	7	20.732	56.668	-5.8984	3.692	0.000	44.5984
HetInf	6meses	100	-235.203	-383.992	-153.011	971.454	0.000	-156.586
HetInf	6meses	7	4.696	71.697	-6.64827	7.777	0.000	44.8448
HetNoinf	1día	100	577.077	660.895	216.872	587.678	-284.262	652.681
HetNoinf	1día	7	58.359	-15.427	4.99733	5.866	-7.162	22.5483
HetNoinf	1mes	100	226.436	202.299	204.559	649.706	-209.618	216.897
HetNoinf	1mes	7	6.380	-27.909	22.7543	8.819	-11.256	-16.5137
HetNoinf	6meses	100	-282.677	-91.147	200.506	615.980	-131.381	-221.474
HetNoinf	6meses	7	36.302	-0.498	6.83883	3.188	-7.275	18.1201
EspecNoinf	1día	100	105.284	104.000	59.835	0.000	-28.039	88.744
EspecNoinf	1día	7	17.826	-19.779	4.30825	0.000	-0.955	-2.65312
EspecNoinf	1mes	100	98.351	-171.721	81.8785	0.000	-15.884	-69.6823
EspecNoinf	1mes	7	-41.658	-14.299	-11.7867	0.000	6.444	-25.3071
EspecNoinf	6meses	100	-182.699	124.480	-44.8533	0.000	14.852	-14.1089
EspecNoinf	6meses	7	2.669	-8.612	6.31775	0.000	-1.208	-5.52637
PasivNoinf	1día	100	8.340	23.239	-8.59875	0.000	0.176	20.0009
PasivNoinf	1día	7	80.805	-36.844	1.39775	0.000	-3.097	22.8301
PasivNoinf	1mes	100	99.565	-47.163	0.2435	0.000	-3.336	27.7473
PasivNoinf	1mes	7	-26.681	21.136	-0.32175	0.000	0.427	-2.82513
PasivNoinf	6meses	100	-13.780	27.132	-5.046	0.000	0.427	8.9855
PasivNoinf	6meses	7	52.875	-17.864	3.31125	0.000	-3.016	17.3579
LPNoinf	1día	100	687.233	728.787	0	688.717	-297.921	856.971
LPNoinf	1día	7	-46.463	-25.799	0	-1.687	5.643	-38.9525
LPNoinf	1mes	100	363.172	425.295	0	648.901	-241.719	515.093
LPNoinf	1mes	7	-10.101	-9.871	0	5.739	-0.213	-9.8795
LPNoinf	6meses	100	-286.069	-162.068	0	500.717	-111.052	-168.543
LPNoinf	6meses	7	-20.409	-28.815	0	1.066	3.211	-26.2175

Tabla 4.11: Subasta entre mejores, resultados con 2 agentes *plagiadores*: P0 y P1. PG es la frecuencia de aplicación del algoritmo genético.

Exp	PG	TASA	P0	P1	Inf	LP	Noinf	Grel
HetInf	1día	100	1302.068	1373.387	-494.445	1580.405	0.000	1832.17
HetInf	1día	7	85.848	31.413	-10.9476	15.651	0.000	69.5781
HetInf	1mes	100	259.364	231.005	-282.31	1248.092	0.000	527.494
HetInf	1mes	7	-46.512	27.699	1.8168	-2.813	0.000	-11.2233
HetInf	6meses	100	-916.501	-178.377	-127.949	1004.703	0.000	-419.49
HetInf	6meses	7	-14.838	-32.128	2.12627	5.024	0.000	-25.6093
HetNoinf	1día	100	273.221	292.401	118.373	370.105	-149.633	298.441
HetNoinf	1día	7	1.338	-46.289	-0.945	0.813	4.528	-24.267
HetNoinf	1mes	100	369.632	301.435	75.3328	470.407	-144.861	370.298
HetNoinf	1mes	7	-36.499	-36.430	15.5673	0.348	-1.893	-43.3017
HetNoinf	6meses	100	-69.365	-207.651	123.883	286.427	-68.428	-166.235
HetNoinf	6meses	7	15.724	-40.879	-8.31433	2.221	6.620	-11.7303
EspecNoinf	1día	100	72.982	81.227	30.1197	0.000	-17.168	70.6286
EspecNoinf	1día	7	42.548	-6.948	27.376	0.000	-9.069	8.6465
EspecNoinf	1mes	100	36.736	167.728	-27.602	0.000	-5.856	119.006
EspecNoinf	1mes	7	28.055	12.645	1.937	0.000	-3.028	20.8955
EspecNoinf	6meses	100	-19.838	138.502	24.458	0.000	-13.531	53.8685
EspecNoinf	6meses	7	69.739	-3.802	48.5157	0.000	-16.250	16.8356
PasivNoinf	1día	100	-102.200	93.893	2.43675	0.000	-0.090	-5.32688
PasivNoinf	1día	7	23.381	-23.993	-0.131	0.000	0.071	-0.276
PasivNoinf	1mes	100	-7.864	2.943	-0.51775	0.000	0.437	-2.42012
PasivNoinf	1mes	7	-30.631	51.145	1.6715	0.000	-1.700	10.2713
PasivNoinf	6meses	100	35.064	-92.215	-1.51225	0.000	3.950	-29.7944
PasivNoinf	6meses	7	-138.895	-26.526	-3.92875	0.000	11.321	-86.4066
LPNoinf	1día	100	279.936	251.240	0	400.918	-152.489	341.832
LPNoinf	1día	7	-18.632	-5.596	0	1.879	1.194	-12.711
LPNoinf	1mes	100	264.542	198.823	0	533.684	-185.579	324.472
LPNoinf	1mes	7	-27.119	-84.301	0	0.839	7.719	-59.5695
LPNoinf	6meses	100	-170.656	88.830	0	519.376	-142.548	30.361
LPNoinf	6meses	7	-8.792	3.625	0	-2.204	0.999	-3.083

Tabla 4.12: órdenes al mercado, resultados con 2 agentes *plagiadores*: P0 y P1. PG es la frecuencia de aplicación del algoritmo genético.

plagiadores. Esto se debe al reducido volumen de transacción de este modelo, pues los agentes de largo plazo necesitan comprar acciones para obtener una ganancia, de modo que durante varios periodos la ganancia de un agente de largo plazo puede ser comparable a la de un no informado, lo cual introduce ruido en la selección del agente plagiador. Aunque las ganancias absolutas pueden mostrar pérdidas, las ganancias relativas para los plagiadores son positivas. Estas ganancias muestran una relación directa con la frecuencia de adaptación. En el caso de un día, las ganancias relativas siempre son buenas, con excepción de los experimentos *EspecNoInf* y *PasivNoInf*, debido a que en estos casos no hay una buena estrategia para copiar (la de los agentes de largo plazo); si la adaptación es mensual, las ganancias relativas son mucho menores, y si es cada 6 meses, no produce buenos resultados. El precio de una acción puede subir al principio de la simulación debido a la demanda de los agentes de largo plazo³, pero una vez satisfecha esa demanda, el mercado se libera de esa presión y el precio puede empezar a bajar. En otras palabras, con la adaptación cada 6 meses, los plagiadores corren el riesgo de escoger la estrategia que ya no es correcta.

Los datos correspondientes a la subasta entre mejores se muestran en la Tabla 4.11; considerando las ganancias absolutas, en prácticamente todos los experimentos la frecuencia de adaptación de 6 meses no produce resultados positivos para los agentes plagiadores. En el experimento *HetInf*, los plagiadores copian buenas estrategias (dada la diversidad) y obtienen muy buenas ganancias, las cuales se incrementan con la tasa de incremento en el precio. Las ganancias son mucho mayores cuando la frecuencia de adaptación es 1 día. En el experimento *HetNoInf*, las ganancias para los plagiadores son buenas con una tasa de incremento en el precio del 100%, siendo mayores cuando la adaptación se realiza cada día, mientras que con una tasa del 7% no hay ganancias sistemáticas para los dos plagiadores: esto se debe a que con esta tasa no hay una estrategia que domine a las demás, además de que el mayor número de agentes no informados introduce ruido en la selección, pues, como ya se mencionó, aunque en promedio sus ganancias son menores, algunos no informados pueden tener ganancias muy buenas, de manera que engañan a los plagiadores. En los experimentos *EspecNoInf* y *PasivNoInf*, los resultados son similares: sólo existe una ganancia cuando la tasa de incremento es 100% y la evolución se realiza cada día; de nuevo el ruido introducido por los agentes no informados impide la selección de la estrategia correcta. En el último experimento, las ganancias son buenas sólo cuando la tasa es del 100%, que es el caso en donde los agentes de largo plazo pueden tener ganancias más significativas. Las ganancias relativas tienen una tendencia similar al modelo de subasta entre iguales: son muy buenas cuando los plagiadores pueden copiar la estrategia

³curiosamente, ellos están convencidos de que el precio va a subir, y generan una demanda que en efecto hace subir el precio

de largo plazo y cuando la frecuencia de adaptación es de un día. En este modelo hay una mayor diferencia en las ganancias de las diferentes frecuencias de adaptación, lo cual se debe a que al existir un mayor volumen de operación, los plagiadores aprovechan mejor las ventajas de una buena estrategia o sufren con mayor severidad las desventajas de una mala elección.

En cuanto a los resultados en el modelo de órdenes al mercado, podemos observar que la adaptación cada 6 meses tampoco produce buenos resultados. En los demás experimentos se observan resultados similares a la subasta entre mejores: en el experimento *HetInf*, las ganancias de los plagiadores son buenas, a excepción de la tasa del 7% y adaptación mensual, en donde no hay una estrategia que domine a las demás; en el experimento *HetNoInf*, los plagiadores obtienen ganancias sólo con la tasa del 100%; en los experimentos *PasivNoInf* y *EspecNoInf* el ruido de los agentes no informados se manifiesta nuevamente, mientras que en el último experimento ese ruido no es determinante sólo cuando la tasa es de 100%. Las ganancias relativas muestran las mismas tendencias que en los dos modelos anteriores, con diferencias mayores entre las diferentes frecuencias de adaptación, ya que en este modelo existe una mayor liquidez.

La táctica de copiar una estrategia utilizada por un agente exitoso puede ser buena, pero los resultados dependen de la frecuencia con que se aplica esta táctica. Esto último refleja el dilema sobre explotación vs. exploración; este dilema se refiere a la conveniencia de explorar en la búsqueda de una mejor solución sobre la conveniencia de explotar una solución buena, pero que no se sabe si es la óptima. En el caso de los agentes plagiadores, la frecuencia de adaptación de 1 día representa una exploración constante, lo cual les produce grandes beneficios para una tasa de 100%; con una tasa de 7% son engañados en la exploración, debido a que la señal de la alza del precio puede ser más pequeña que el ruido. La tasa de adaptación de 1 mes representa la explotación: los plagiadores han decidido que cierta estrategia es buena y desean aprovecharla durante un periodo más largo de tiempo. En el caso de la adaptación cada 6 meses, simplemente los plagiadores han perdido demasiado tiempo antes de copiar una estrategia, y muy difícilmente pueden recuperarse de sus pérdidas. Cabe recordar que la selección mediante ruleta aumenta las posibilidades de seleccionar una estrategia que ha tenido algún éxito gracias al ruido.

La siguiente serie de resultados corresponden a los experimentos usando un agente *analista*; aquí estamos interesados en observar cuales son los resultados de este tipo de agente en diferentes tipos de mercados, de modo que se realizaron experimentos con todos los agentes informados de diferentes tipos (*HetInf*), con agentes informados de diferentes tipos y agentes no informados (*HetNoInf*) y mercados homogéneos con agentes sin información (*NoInf*), especuladores (*Espec*), pasivos (*Pasiv*) y de largo plazo (*LP*). Los resultados se muestran en las Tablas 4.13-4.15.

Exp	PG	TASA	An0	Inf	LP	Noinf	Grel
HetInf	1día	100	355.830	-237.273	1067.753	0.000	593.103
HetInf	1día	7	63.481	-29.6575	127.127	0.000	93.1385
HetInf	1mes	100	-227.189	-210.483	1128.144	0.000	-16.7061
HetInf	1mes	7	-28.809	-18.0848	100.027	0.000	-10.7242
HetInf	6meses	100	-528.647	-175.06	1051.514	0.000	-353.587
HetInf	6meses	7	12.966	-22.428	107.818	0.000	35.394
HetNoinf	1día	100	306.504	-136.345	1236.318	-60.396	404.875
HetNoinf	1día	7	-13.432	10.1625	35.833	-6.948	-15.0393
HetNoinf	1mes	100	-157.050	-40.7045	1005.945	-50.389	-111.503
HetNoinf	1mes	7	-1.612	4.67383	37.037	-5.289	-1.30442
HetNoinf	6meses	100	8.496	-39.223	977.418	-62.548	59.3815
HetNoinf	6meses	7	-10.175	4.18733	18.531	-2.790	-10.8737
Noinf	1día	100	165.607	0	0.000	-8.716	169.965
Noinf	1día	7	1.138	0	0.000	-0.060	1.168
Noinf	1mes	100	28.391	0	0.000	-1.494	29.138
Noinf	1mes	7	1.111	0	0.000	-0.058	1.14
Noinf	6meses	100	24.196	0	0.000	-1.273	24.8325
Noinf	6meses	7	-7.383	0	0.000	0.389	-7.5775
Espec	1día	100	46.240	-2.43368	0.000	0.000	48.6737
Espec	1día	7	0.767	-0.0403684	0.000	0.000	0.807368
Espec	1mes	100	129.983	-6.84121	0.000	0.000	136.824
Espec	1mes	7	-19.727	1.03826	0.000	0.000	-20.7653
Espec	6meses	100	82.660	-4.35053	0.000	0.000	87.0105
Espec	6meses	7	-19.729	1.03837	0.000	0.000	-20.7674
Pasiv	1día	100	0.000	0	0.000	0.000	0
Pasiv	1día	7	0.000	0	0.000	0.000	0
Pasiv	1mes	100	0.000	0	0.000	0.000	0
Pasiv	1mes	7	0.289	-0.0152105	0.000	0.000	0.304211
Pasiv	6meses	100	0.000	0	0.000	0.000	0
Pasiv	6meses	7	0.000	0	0.000	0.000	0
LP	1día	100	-3252.069	0	171.162	0.000	-3252.07
LP	1día	7	-1191.084	0	62.689	0.000	-1191.08
LP	1mes	100	-1805.776	0	95.041	0.000	-1805.78
LP	1mes	7	-594.651	0	31.297	0.000	-594.651
LP	6meses	100	0.000	0	0.000	0.000	0
LP	6meses	7	0.000	0	0.000	0.000	0

Tabla 4.13: . Resultados para el modelo de subasta entre iguales usando un agente analista.

Exp	PG	TASA	An0	Inf	LP	Noinf	Grel
HetInf	1día	100	940.584	-258.265	977.797	0.000	1198.85
HetInf	1día	7	17.447	-1.77813	3.075	0.000	19.2251
HetInf	1mes	100	402.848	-248.976	1110.597	0.000	651.824
HetInf	1mes	7	51.418	-4.28667	4.294	0.000	55.7047
HetInf	6meses	100	-579.822	-145.073	918.640	0.000	-434.749
HetInf	6meses	7	-13.714	1.40407	-2.449	0.000	-15.1181
HetNoinf	1día	100	600.290	136.503	579.750	-166.588	615.333
HetNoinf	1día	7	-10.837	-8.66633	-1.977	5.401	-9.20433
HetNoinf	1mes	100	141.247	69.5365	485.114	-86.965	149.961
HetNoinf	1mes	7	33.219	-31.2222	-0.806	12.910	42.3751
HetNoinf	6meses	100	127.420	111.623	486.638	-106.983	125.1
HetNoinf	6meses	7	24.890	-1.0765	1.021	-1.621	26.2387
Noinf	1día	100	500.484	0	0.000	-26.341	513.654
Noinf	1día	7	-30.922	0	0.000	1.627	-31.7355
Noinf	1mes	100	291.401	0	0.000	-15.337	299.07
Noinf	1mes	7	-14.679	0	0.000	0.772	-15.065
Noinf	6meses	100	153.436	0	0.000	-8.075	157.474
Noinf	6meses	7	32.508	0	0.000	-1.711	33.3635
Espec	1día	100	448.559	-23.6084	0.000	0.000	472.167
Espec	1día	7	-26.574	1.39863	0.000	0.000	-27.9726
Espec	1mes	100	189.225	-9.95921	0.000	0.000	199.184
Espec	1mes	7	-30.783	1.62016	0.000	0.000	-32.4032
Espec	6meses	100	267.294	-14.0681	0.000	0.000	281.362
Espec	6meses	7	22.171	-1.16689	0.000	0.000	23.3379
Pasiv	1día	100	230.050	-12.1079	0.000	0.000	242.158
Pasiv	1día	7	-12.926	0.680316	0.000	0.000	-13.6063
Pasiv	1mes	100	293.241	-15.4337	0.000	0.000	308.675
Pasiv	1mes	7	5.366	-0.282421	0.000	0.000	5.64842
Pasiv	6meses	100	267.227	-14.0646	0.000	0.000	281.292
Pasiv	6meses	7	-2.764	0.145474	0.000	0.000	-2.90947
LP	1día	100	-45588.516	0	2399.396	0.000	-45588.5
LP	1día	7	-2020.518	0	106.343	0.000	-2020.52
LP	1mes	100	-13493.949	0	710.208	0.000	-13493.9
LP	1mes	7	-1076.305	0	56.648	0.000	-1076.31
LP	6meses	100	0.000	0	0.000	0.000	0
LP	6meses	7	0.000	0	0.000	0.000	0

Tabla 4.14: . Resultados para el modelo de subasta entre mejores usando un agente analista.

Exp	PG	TASA	An0	Inf	LP	Noinf	Grel
HetInf	1día	100	986.412	-298.814	1165.266	0.000	1285.23
HetInf	1día	7	31.833	-2.8072	3.425	0.000	34.6402
HetInf	1mes	100	251.942	-280.62	1319.117	0.000	532.562
HetInf	1mes	7	9.757	-1.22887	2.892	0.000	10.9859
HetInf	6meses	100	-162.046	-224.255	1175.288	0.000	62.2085
HetInf	6meses	7	142.771	-12.1259	13.039	0.000	154.897
HetNoinf	1día	100	382.326	-7.5325	356.913	-57.837	415.011
HetNoinf	1día	7	35.683	7.42117	6.310	-7.210	35.5774
HetNoinf	1mes	100	220.318	29.3352	326.959	-60.274	235.787
HetNoinf	1mes	7	42.359	0.851333	8.669	-4.678	44.2723
HetNoinf	6meses	100	-28.611	-4.94333	353.591	-24.610	-13.8343
HetNoinf	6meses	7	29.462	10.9557	-2.028	-7.764	27.8662
NOINF	1día	100	225.096	0	0.000	-11.847	231.019
Noinf	1día	7	65.151	0	0.000	-3.429	66.8655
Noinf	1mes	100	94.701	0	0.000	-4.984	97.193
Noinf	1mes	7	-73.105	0	0.000	3.848	-75.029
Noinf	6meses	100	33.872	0	0.000	-1.783	34.7635
Noinf	6meses	7	-18.429	0	0.000	0.970	-18.914
Espec	1día	100	354.250	-18.6447	0.000	0.000	372.895
Espec	1día	7	-24.706	1.30032	0.000	0.000	-26.0063
Espec	1mes	100	203.089	-10.6889	0.000	0.000	213.778
Espec	1mes	7	6.731	-0.354263	0.000	0.000	7.08526
Espec	6meses	100	15.408	-0.810947	0.000	0.000	16.2189
Espec	6meses	7	-19.623	1.03279	0.000	0.000	-20.6558
Pasiv	1día	100	44.628	-2.34884	0.000	0.000	46.9768
Pasiv	1día	7	4.657	-0.245105	0.000	0.000	4.90211
Pasiv	1mes	100	-0.423	0.0222632	0.000	0.000	-0.445263
Pasiv	1mes	7	7.432	-0.391158	0.000	0.000	7.82316
Pasiv	6meses	100	3.203	-0.168579	0.000	0.000	3.37158
Pasiv	6meses	7	0.249	-0.0131053	0.000	0.000	0.262105
LP	1día	100	-15615.791	0	821.883	0.000	-15615.8
LP	1día	7	-12429.654	0	654.192	0.000	-12429.7
LP	1mes	100	-125.827	0	6.622	0.000	-125.827
LP	1mes	7	-3245.371	0	170.809	0.000	-3245.37
LP	6meses	100	0.000	0	0.000	0.000	0
LP	6meses	7	-121.941	0	6.418	0.000	-121.941

Tabla 4.15: . Resultados para el modelo de órdenes al mercado usando un agente analista.

En el modelo de subasta entre iguales podemos observar lo siguiente: en el experimento *HetInf*, el analista obtiene buenas ganancias netas sólo cuando la adaptación se realiza cada día; esto se debe a que en este experimento el analista comienza siendo un agente no informado y es quien provee de ganancias a los agentes de largo plazo mientras no se realice la adaptación; en el caso de adaptación cada 6 meses y tasa de 7%, los agentes de largo plazo no dominan el mercado, lo cual explica que el analista haya podido obtener una pequeña ganancia; en el experimento *HetNoinf* los resultados son similares, en el caso de adaptación de 1 día y tasa de 7% la estrategia de los especuladores obtuvo buenos resultados, lo cual introdujo ruido en la selección del analista⁴; en el experimento *Noinf* el analista siempre obtiene ganancias, y lo mismo sucede en *Espec*, mientras que en *Pasiv* no existe ninguna ganancia; lo anterior se debe a que en los primeros dos experimentos, los agentes en el mercado están dispuestos a realizar tanto operaciones de compra como de venta, lo que permite que el analista pueda aprovechar una estrategia, en cambio los agentes pasivos no desean hacer operaciones, y por lo tanto el analista no puede hacer uso de ninguna estrategia; en el experimento *LP* el analista tiene pérdidas grandes en casi todos los casos, lo cual se debe a que este agente puede determinar la conveniencia de usar una estrategia, pero el mercado en general sólo desea realizar operaciones de compra, de modo que el analista sólo puede vender acciones, con lo que su estrategia se ve frustrada, produciendo las pérdidas observadas. Las ganancias relativas en los mercados heterogéneos son, nuevamente, mucho mejores cuando la adaptación es cada día. En los mercados homogéneos, el analista obtiene mejores ganancias siempre que la tasa de incremento es del 100%, a excepción del mercado con agentes de largo plazo, por las razones mencionadas anteriormente.

Los resultados en el modelo de subasta entre mejores son un poco diferentes en cuanto a las ganancias absolutas: en este modelo, la mayor liquidez permite que el analista se recupere cuando la adaptación se realiza en periodos largos, de modo que sus ganancias son buenas en el experimento *HetInf* aun cuando la adaptación es cada mes, y en el experimento *HetNoinf* cuando la adaptación es hasta de 6 meses; en este último caso el analista aprovecha la existencia de agentes no informados para recuperarse. En los experimentos con mercados homogéneos sin información, con especuladores y con agentes pasivos, las ganancias del analista son mayores que en el modelo de subasta entre iguales, debido también a la mayor liquidez, y por la misma razón sus pérdidas son mayores en el mercado con agentes de largo plazo. Las ganancias relativas nuevamente son mejores cuando es mayor la frecuencia de adaptación, y son mejores con respecto al modelo anterior. Los resultados para el modelo de órdenes al mercado son similares a los del modelo

⁴cabe recordar que esta estrategia es muy parecida a la de los no informados y por lo tanto no produce ganancias sistemáticas.

de subasta entre mejores.

En general, el agente analista obtiene muy buenos resultados con respecto a los demás agentes, pues tiene la posibilidad de escoger una buena estrategia cuando hay una tendencia en el mercado, sin embargo, sus ganancias nunca pueden ser mejores que las de los agentes de largo plazo; esto último se debe a que dicha estrategia es la mejor, de modo que los analistas deben dejar pasar un cierto periodo de tiempo para obtener datos que le permitan descubrir cual es la mejor estrategia, y en ese periodo los agentes de largo plazo toman la ventaja: ellos ya llegan al mercado con la mejor estrategia. En estos experimentos, al igual que en el experimento con 2 plagiadores, la exploración es más ventajosa que la explotación.

En el siguiente conjunto de experimentos se utilizaron 20 agentes plagiadores. Los experimentos fueron: *HetInf* con agentes informados de distintos tipos, *HetNoinf* con agentes informados de distintos tipos y no informados, y *LPNoinf* con agentes de largo plazo (2) y no informados. Los resultados se muestran en las Tablas 4.16- 4.18. En estas tablas se muestran los indicadores del mercado (volumen de operación y volatilidad), así como la distribución de tipos de agentes en cada experimento.

Exp	PG	T	VP	Vol	1d	7d	14d	1m	2m	3m	6m	Noinf
HetInf	1d	100	62.800	0.001345	4	0	4	8	0	0	4	0
HetInf	1d	7	38.600	0.001413	0	0	0	12	0	0	4	4
HetInf	1m	100	24.200	0.001182	0	1	0	10	0	4	2	1
HetInf	1m	7	74.000	0.001290	1	2	1	2	1	1	8	1
HetInf	6m	100	50.200	0.001202	2	2	1	3	1	2	5	1
HetInf	6m	7	52.400	0.001501	2	3	1	3	2	2	4	0
HetNoinf	1d	100	130.400	0.003095	0	0	4	4	0	0	0	12
HetNoinf	1d	7	166.800	0.006190	0	0	0	0	0	0	0	20
HetNoinf	1m	100	108.800	0.002112	0	0	2	3	0	0	1	12
HetNoinf	1m	7	149.400	0.002680	0	2	3	0	0	0	2	11
HetNoinf	6m	100	112.800	0.001995	0	2	1	1	2	0	2	10
HetNoinf	6m	7	123.400	0.004605	0	1	0	0	1	0	1	15
LPNoinf	1d	100	136.400	0.001957	0	0	0	0	0	0	4	16
LPNoinf	1d	7	81.600	0.002108	0	0	0	0	0	0	12	8
LPNoinf	1m	100	96.600	0.001352	0	0	0	0	0	0	9	10
LPNoinf	1m	7	129.200	0.001749	0	0	0	0	0	0	8	12
LPNoinf	6m	100	100.400	0.001352	0	0	0	0	0	0	11	9
LPNoinf	6m	7	116.000	0.001861	0	0	0	0	0	0	7	12

Tabla 4.16: Subasta entre iguales, resultados generales con 20 agentes plagiadores

Exp	PG	T	VP	Vol	1d	7d	14d	1m	2m	3m	6m	Noinf
HetInf	1d	100	291.000	0.001108	0	0	0	4	0	0	16	0
HetInf	1d	7	8288.600	0.001151	0	8	0	4	0	4	4	0
HetInf	1m	100	1982.000	0.001064	0	0	0	1	0	0	18	0
HetInf	1m	7	12099.000	0.002137	0	6	0	2	0	4	2	4
HetInf	6m	100	9265.000	0.001326	0	2	2	4	3	0	5	1
HetInf	6m	7	10193.600	0.002359	1	2	3	3	1	1	3	2
HetNoinf	1d	100	9629.600	0.001172	0	0	0	0	4	0	8	8
HetNoinf	1d	7	22283.400	0.002151	0	0	8	0	0	0	0	12
HetNoinf	1m	100	15065.600	0.001276	0	0	1	1	0	0	6	10
HetNoinf	1m	7	17966.000	0.002145	2	2	2	0	0	0	0	11
HetNoinf	6m	100	18539.800	0.001452	1	0	2	1	0	0	0	13
HetNoinf	6m	7	18889.800	0.002078	1	0	0	1	1	0	1	14
LPNoinf	1d	100	5046.600	0.001155	0	0	0	0	0	0	16	4
LPNoinf	1d	7	1499.200	0.000927	0	0	0	0	0	0	20	0
LPNoinf	1m	100	4316.600	0.001100	0	0	0	0	0	0	18	1
LPNoinf	1m	7	16568.000	0.001865	0	0	0	0	0	0	5	14
LPNoinf	6m	100	16509.600	0.001443	0	0	0	0	0	0	7	12
LPNoinf	6m	7	18167.000	0.002241	0	0	0	0	0	0	5	14

Tabla 4.17: Subasta entre mejores, resultados generales con 20 agentes plagiadores

Exp	PG	T	VP	Vol	1d	7d	14d	1m	2m	3m	6m	Noinf
HetInf	1d	100	5671.200	0.000115	4	0	0	0	4	4	4	4
HetInf	1d	7	1291.800	0.000054	0	0	0	4	8	4	4	0
HetInf	1m	100	5091.800	0.000107	0	3	0	0	1	0	13	2
HetInf	1m	7	7191.200	0.000049	0	6	7	0	2	0	3	0
HetInf	6m	100	4739.400	0.000068	0	1	1	2	2	1	10	0
HetInf	6m	7	6242.600	0.000045	3	2	1	1	2	1	3	2
HetNoinf	1d	100	8475.000	0.000117	0	0	4	0	4	0	4	8
HetNoinf	1d	7	11155.200	0.000054	0	0	0	0	4	0	0	16
HetNoinf	1m	100	10412.600	0.000077	0	0	0	0	0	0	4	14
HetNoinf	1m	7	12151.800	0.000059	3	5	0	0	0	0	0	9
HetNoinf	6m	100	11028.400	0.000059	1	1	1	0	0	0	3	12
HetNoinf	6m	7	11269.600	0.000058	0	2	0	0	1	0	0	15
LPNoinf	1d	100	13530.400	0.000064	0	0	0	0	0	0	0	20
LPNoinf	1d	7	13351.800	0.000064	0	0	0	0	0	0	0	20
LPNoinf	1m	100	6493.800	0.000132	0	0	0	0	0	0	14	5
LPNoinf	1m	7	9247.000	0.000057	0	0	0	0	0	0	9	10
LPNoinf	6m	100	10010.200	0.000062	0	0	0	0	0	0	8	11
LPNoinf	6m	7	10454.000	0.000057	0	0	0	0	0	0	5	15

Tabla 4.18: Ordenes al mercado, resultados generales con 20 agentes plagiadores

El objetivo de este experimento es mostrar la tendencia que puede existir en la homogeneización de un mercado; de los experimentos de las secciones anteriores podríamos deducir que el mercado debe homogeneizarse con agentes de largo plazo, pues son los que tienen mejores ganancias. En los resultados del modelo de subasta entre iguales, podemos observar lo siguiente: en un mercado inicialmente heterogéneo con todos los tipos de agentes, la distribución final es más o menos equitativa, con excepción de tres casos, uno de los cuales presenta una distribución muy marcada hacia agentes de largo plazo aun cuando la tasa de incremento es baja. En un mercado heterogéneo con muchos agentes no informados (13), la distribución final de este tipo de agentes permanece más o menos igual, mientras que en un mercado con 4 agentes de largo plazo y 16 no informados, la distribución final es más o menos equitativa. Esto indica que en este tipo de mercado, la estrategia de largo plazo no muestra resultados positivos rápidamente, de modo que los agentes en el mercado seleccionan otras estrategias e incluso los mismos agentes de largo plazo pierden la confianza acerca de su información, de modo que la población final no contiene tantos agentes de este tipo como se esperaba. En el modelo de doble subasta entre mejores, sí existe una tendencia hacia los agentes de largo plazo cuando la tasa de incremento es del 100%, aunque dicha tendencia es menos marcada en el experimento con 7 agentes informados y 13 no informados. En este modelo hay una mayor liquidez, por lo tanto las ventajas de una estrategia pueden apreciarse más rápidamente. En las órdenes al mercado, la tendencia es otra vez hacia los agentes no informados, ya que la baja volatilidad impide que los resultados de una estrategia puedan mostrarse rápidamente.

En los experimentos con 2 agentes plagiadores se mostró que la exploración tiene mayores ventajas que la explotación, pero en estos experimentos sucede lo contrario: la rápida exploración de nuevas estrategias conduce a que los resultados con que se evalúan no sean los mejores, de modo que generan poca confianza en una estrategia. También es importante mencionar otro aspecto: los plagiadores copian estrategias "del mundo real", es decir, estrategias que ya han sido probadas dentro del mercado, mientras que el analista realiza su estudio suponiendo un mercado en donde nunca hay problemas de liquidez⁵.

4.2 Modelo con *market makers*

En esta sección presentamos los resultados de una serie de experimentos en donde se han utilizado *market makers* con las estrategias discutidas en el capítulo anterior. En total se realizaron 12 experimentos, los cuales se describen en la Tabla 4.19. En estos experimentos, los *market makers* no pueden ofrecer una postura si no tienen recursos para

⁵Es un mercado virtual dentro del mercado virtual

Exp	Descripción
tinvs.n	Todos los <i>market makers</i> manejan su inventario y son tranquilos
tinvs.cn	Todos los <i>market makers</i> manejan su inventario y son nervioso
alet.n	Todos los <i>market makers</i> ponen posturas aleatorias y son tranquilos
alet.cn	Todos los <i>market makers</i> ponen posturas aleatorias y son nerviosos
inv.n	Un <i>market maker</i> de inventario y 4 aleatorios, todos tranquilos
inv.cn	Un <i>market maker</i> de inventario y 4 aleatorios, todos nerviosos
com.n	Un <i>market maker</i> de inventario, 2 aleatorios y 2 de competencia, los tres primeros tranquilos
com.cn	Un <i>market maker</i> de inventario, 2 aleatorios y 2 de competencia, todos nerviosos
mon.n	Un <i>market maker</i> de inventario, 2 aleatorios, 2 competencia y un monopolista sin límites
mon.cn	Un <i>market maker</i> de inventario, 2 aleatorios, 2 competencia y un monopolista sin límites
monl.n	Un <i>market maker</i> de inventario, 2 aleatorios, 2 competencia y un monopolista con límites
monl.cn	Un <i>market maker</i> de inventario, 2 aleatorios, 2 competencia y un monopolista con límites

Tabla 4.19: Descripción de los experimentos con *market makers*. Los monopolistas nunca son nerviosos y los competidores nunca son tranquilos

cubrirla, aunque pueden permanecer en el mercado ofreciendo solamente una postura (ya sea el *bid* o el *ask*).

En las Figs. 4.1-4.12 se muestran gráficas de precios y de volatilidad correspondientes a estos experimentos. En la Figura 4.1 se muestran los resultados con *market makers* que cuidan su inventario y que no son nerviosos. Los *market makers* que tienen problemas en su inventario realizan más operaciones, de modo que son los primeros en consumir sus recursos. Las variaciones en el precio en *ticks* cercanos a los 18000 y 40000 se deben a que todos los *market makers* murieron, a excepción de uno que no hizo operaciones durante un periodo largo de tiempo; dado que no es un *market maker* nervioso, su postura fue actualizada tiempo atrás, cuando el precio de la acción era muy diferente al actual. En la Figura 4.2 los *market makers* son nerviosos, por lo cual no se presenta un fenómeno similar. En esta figura hay periodos largos con poca variación en el precio, en las cuales los *market makers* intentan proteger su inventario con posturas agresivas. En las zonas con alta volatilidad, los *market makers* no tienen problemas de inventario, de modo que escogen sus posturas de forma aleatoria. Las Figs 4.3 y 4.4 corresponden a los experimentos con *market makers* aleatorios; estas figuras muestran que las variaciones en el precio son menores cuando los agentes son nerviosos; en la gráfica del experimento con agentes aleatorios nerviosos, el precio llegó a un nivel bajo, del cual no pudo recuperarse, debido a la forma en que los *market makers* calculan su postura, como se discutió en el capítulo anterior. Las Figs 4.5-4.8 corresponden a los experimentos con una mezcla de *market makers* aleatorios, de inventario y competitivos; en estas figuras pueden observarse

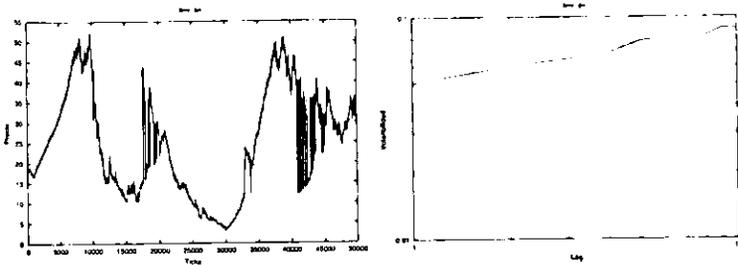


Figura 4.1: Gráfica de precios y volatilidad para diferentes *lags* en el experimento *tmv.sn*.

dos fases diferentes en la gráfica de precios: en la fase “delgada”, los competitivos y los de inventario compiten por el flujo de operaciones, de modo que reducen el *spread* a 0, mientras que en la fase ruidosa, los aleatorios se han quedado con el mercado, dado que los competitivos han terminado sus recursos. Las Figuras 4.9-4.12 muestran el efecto de los *market makers* monopolistas: estos esperan pacientemente a que los demás *market makers* se acaben sus recursos, de modo que ellos se quedan con la totalidad del mercado, imponiendo su monopolio a los inversionistas. Cuando el resto de los *market makers* son nerviosos, sus recursos se agotan más rápido, y en el ejemplo mostrado, el mercado se agota antes de que el *spread* del monopolista alcance los recursos de los demás *market makers*; en el caso de *market makers* tranquilos, el *spread* monopolista al final llega a un nivel en donde los demás *market makers* pueden revivir, reactivando el movimiento del precio de la acción. En estas últimas figuras pueden observarse las diferentes etapas por las que pasa el mercado: al principio los competitivos dominan el mercado, lo que conduce al *spread* tan reducido; cuando los competitivos mueren, los aleatorios se quedan con las mejores posturas y con el flujo de operaciones, hasta que también agotan sus recursos, lo que da paso a que el monopolista se apodere del mercado.

En las Tablas 4.20, 4.21 y 4.22 pueden observarse los resultados promedio de 5 simulaciones de cada uno de los experimentos descritos anteriormente; estos resultados consisten en las ganancias promedio por *market maker* y por inversionista (GpromMM y GpromA, respectivamente), el volumen de operación y la volatilidad, las ganancias por tipo de *market maker* y el volumen de operaciones que realiza cada uno. En estas tablas puede observarse que, a excepción de los monopolistas, todos los *market makers* tienen pérdidas; dichas pérdidas se deben a dos aspectos: la pérdida de efectivo por el pago del costo de operación y las caídas en el precio de las acciones. Los agentes monopolistas siempre

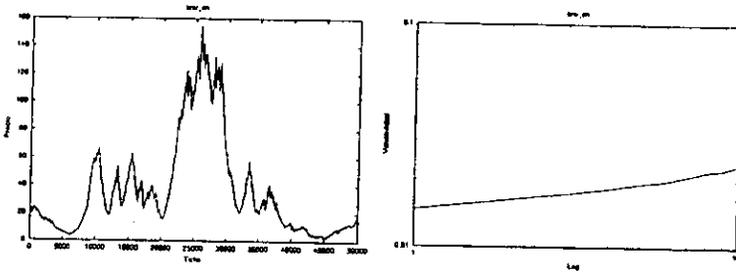


Figura 4.2: Gráfica de precios y volatilidad para diferentes lags en el experimento *tinu.cn*.

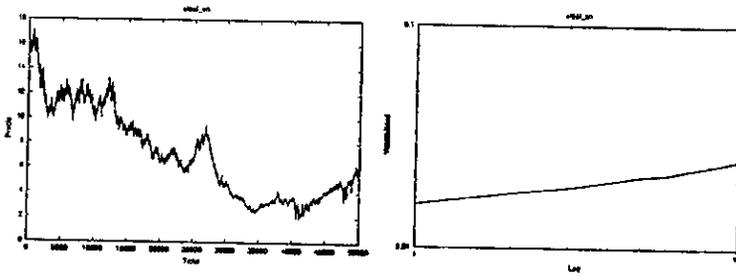


Figura 4.3: Gráfica de precios y volatilidad para diferentes lags en el experimento *aleat.sn*.

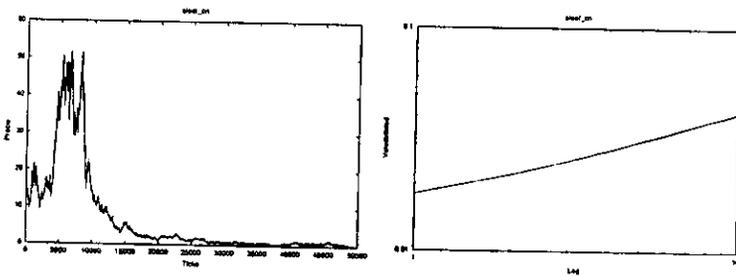


Figura 4.4: Gráfica de precios y volatilidad para diferentes lags en el experimento *aleat.cn*.

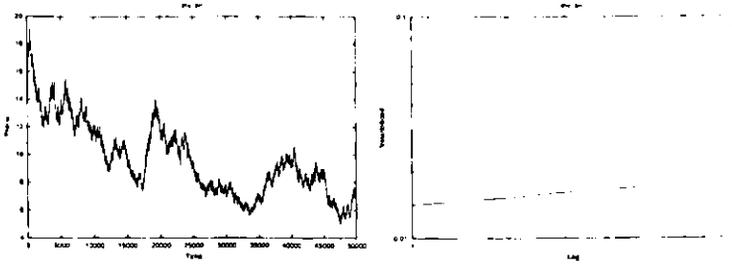


Figura 4.5: Gráfica de precios y volatilidad para diferentes lags en el experimento *inv.sn*.

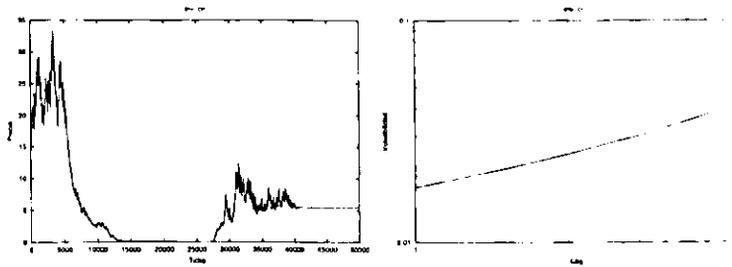


Figura 4.6: Gráfica de precios y volatilidad para diferentes lags en el experimento *inv.cn*.

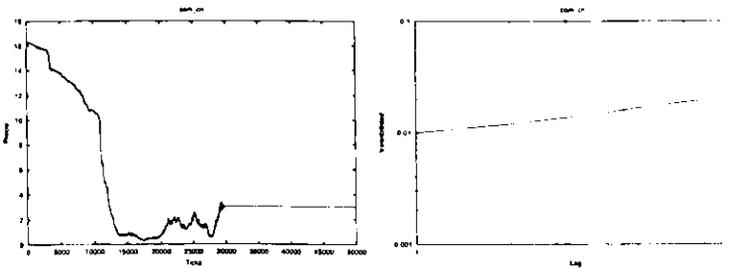


Figura 4.7: Gráfica de precios y volatilidad para diferentes lags en el experimento *com.cn*.

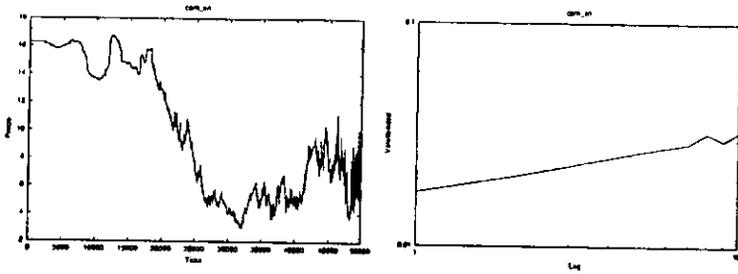


Figura 4.8: Gráfica de precios y volatilidad para diferentes *lags* en el experimento *com.sn*.

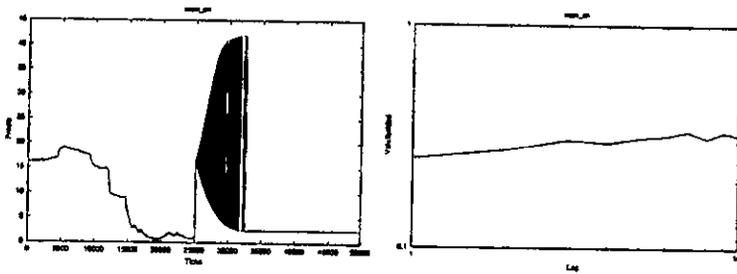


Figura 4.9: Gráfica de precios y volatilidad para diferentes *lags* en el experimento *mon.cn*.

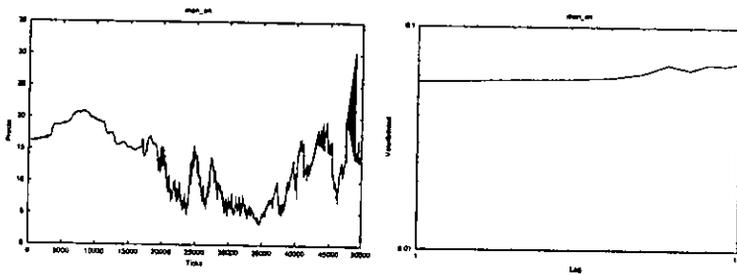


Figura 4.10: Gráfica de precios y volatilidad para diferentes *lags* en el experimento *mon.sn*.

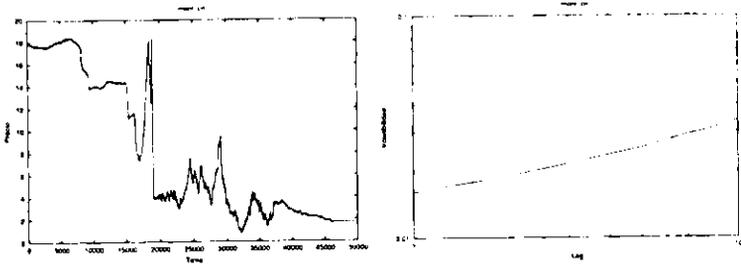


Figura 4.11: Gráfica de precios y volatilidad para diferentes lags en el experimento *monL.cn*.

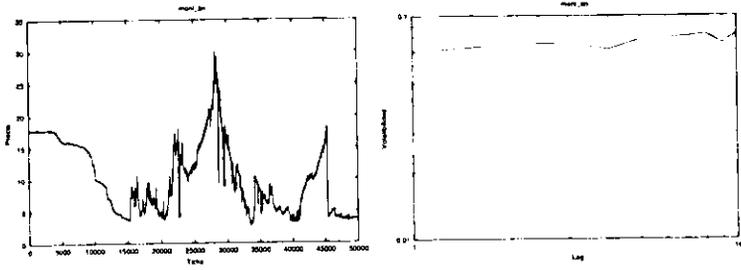


Figura 4.12: Gráfica de precios y volatilidad para diferentes lags en el experimento *monL.sn*.

Exp	VP	Vol	GpromA	GpromMM	Vol/VP
tinvcn	20624.600	0.007390	313.757	-1873.776	0.358
tinvsn	32394.000	0.030120	-84.562	-633.619	0.99
aleat.cn	32744.200	0.011876	-112.910	-530.701	0.363
aleat.sn	30597.600	0.012507	-58.976	-682.065	0.409
inv.cn	32718.600	0.011858	-123.522	-487.509	0.362
inv.sn	29425.400	0.012352	-26.385	-777.252	0.420
com.cn	32560.400	0.012664	-46.442	-791.049	0.389
com.sn	19494.000	0.008371	44.479	-762.741	0.429
mon.cn	32471.000	0.085018	-362.386	475.404	2.618
mon.sn	22174.400	0.161981	-600.944	1738.453	7.305
monl.cn	32095.200	0.085917	-184.249	-225.888	2.67
monl.sn	23977.200	0.133459	-296.865	468.064	5.56

Tabla 4.20: Modelo con *market makers*, resultados generales

tienen ganancias, ya que siempre realizan sus operaciones manteniendo un *spread* muy por encima del costo de operación. Los que manejan su inventario tienen mayores pérdidas que los aleatorios, lo cual se debe a que hacen un esfuerzo extra para mantener su inventario, además de que no reciben retroalimentación por parte de los agentes inversionistas, como se mencionó en el capítulo anterior. A pesar de su estrategia, los competitivos no tienen el mayor flujo de operaciones, lo cual se debe a que rápidamente quedan fuera del mercado. El volumen de operaciones total es mayor que en el modelo de órdenes al mercado, lo cual es el objetivo de los *market makers*. Este volumen de operación es mayor cuando los *market makers* no son nerviosos, pues así se mantienen más tiempo dentro del mercado. A pesar de la mayor liquidez, la volatilidad es muy grande con respecto a los modelos anteriores, siendo la volatilidad por operación un orden de magnitud mayor que en el modelo de órdenes al mercado. En general las estrategias usadas en estos experimentos no utilizan información del mercado para determinar las posturas, sino que se basan en manejar un *spread*, debido a lo cual el comportamiento del precio de la acción no es parecido al de los otros modelos.

Al aumentar la liquidez en el mercado, es de esperarse que los *market makers* disminuyan la volatilidad, pero las tablas anteriores indican lo contrario. Con la excepción de los monopolistas, los cuales introducen variaciones demasiado grandes en el precio, podemos suponer que la volatilidad se debe al *spread* de los demás agentes, principalmente de los aleatorios y los de inventario. En los experimentos anteriores, el *spread* promedio para estos tipos de *market makers* fue del 4% del precio de la acción. En las Tablas 4.23 y 4.24 se muestran resultados con un *spread* promedio del 2% y con un costo de transacción

Exp	Ale	Inv	Com	Mcl	Msl
tin_v.cn	0.000	-1873.776	0.000	0.000	0.000
tin_v.sn	0.000	-633.619	0.000	0.000	0.000
aleat.sn	-530.701	0.000	0.000	0.000	0.000
aleat.cn	-682.065	0.000	0.000	0.000	0.000
inv.sn	-452.646	-626.964	0.000	0.000	0.000
inv.cn	-769.644	-807.685	0.000	0.000	0.000
com.sn	-678.776	-699.190	-949.252	0.000	0.000
com.cn	-761.195	-764.168	-763.573	0.000	0.000
mon.sn	-1095.004	-1017.516	-1145.836	0.000	6781.213
mon.cn	-815.648	-823.009	-707.955	0.000	11746.830
monl.sn	-732.735	-765.178	-815.126	1998.724	0.000
monl.cn	-719.490	-722.405	-722.405	5227.025	0.000

Tabla 4.21: Modelo con *market makers*, ganancias por tipo de *market maker*. Ale=aleatorios, Inv=manejan su inventario, Com=competitivos, Mcl=monopolistas con límite y Msl=Monopolistas sin límite

Exp	Vale	Vinv	Vcom	Vmcl	Vmsl	Cale	Cinv	Ccom	Cmcl	Cmsl
tin_v.cn	0	2080	0	0	0	0	2044	0	0	0
tin_v.sn	0	3243	0	0	0	0	3235	0	0	0
aleat.sn	3281	0	0	0	0	3267	0	0	0	0
aleat.cn	3072	0	0	0	0	3047	0	0	0	0
inv.sn	3295	3186	0	0	0	3291	3183	0	0	0
inv.cn	3100	2397	0	0	0	3067	2357	0	0	0
com.sn	3429	2983	3256	0	3407	0	2958	3216	0	0
com.cn	2319	1807	1700	0	0	2279	1767	1660	0	0
mon.sn	5141	4182	3089	0	705	5102	4150	3049	0	909
mon.cn	2387	2451	2502	0	918	2347	2411	2465	0	1722
monl.sn	4125	4708	3201	841	0	4100	4680	3161	913	0
monl.cn	3263	1895	2169	2391	0	3223	1855	2129	2751	0

Tabla 4.22: Modelo con *market makers*, flujo de operaciones por tipo de *market maker*. Ale=aleatorios, Inv=manejan su inventario, Com=competitivos, Mcl=monopolistas con límite y Msl=Monopolistas sin límite

Exp	VP	Vol	GpromA	GpromMM	Vol/VP
tinvs_n	32709.400	0.013409	30.761	-221.260	0.041
tinvs_cn	26060.400	0.004807	408.052	-1710.409	0.018
aleat_s_n	32733.800	0.005901	-59.841	141.080	0.018
aleat_s_cn	32724.200	0.004356	-2.849	-86.847	0.013
inv_s_n	32569.400	0.005705	-79.819	221.475	0.018
inv_s_cn	32608.000	0.003822	50.341	-299.256	0.012
com_s_n	32719.800	0.002565	70.968	-382.086	0.008
com_s_cn	28301.600	0.002860	175.127	-785.445	0.010
mon_s_n	32667.400	0.002087	47.969	-289.943	0.006
mon_s_cn	32652.400	0.036292	-24.604	0.422	0.111
monl_s_n	32660.800	0.003105	63.742	-353.006	0.010
monl_s_cn	32687.000	0.051593	118.267	-571.175	0.158

Tabla 4.23: Resultados generales con un *spread* promedio de 2%.

Exp	Ate	Inv	Com	Mcl	Msl
tinvs_n	0.000	-221.260	0.000	0.000	0.000
tinvs_cn	0.000	-1710.409	0.000	0.000	0.000
aleat_s_n	141.080	0.000	0.000	0.000	0.000
aleat_s_cn	-86.847	0.000	0.000	0.000	0.000
inv_s_n	233.710	182.732	0.000	0.000	0.000
inv_s_cn	-250.737	-402.359	0.000	0.000	0.000
com_s_n	-62.451	-116.978	-656.162	0.000	0.000
com_s_cn	-557.646	-605.386	-1004.379	0.000	0.000
mon_s_n	0.000	-42.565	-527.979	0.000	59.329
mon_s_cn	0.000	-618.406	-923.335	0.000	3268.551
monl_s_n	0.000	-115.854	-643.556	-35.130	0.000
monl_s_cn	0.000	-377.174	-875.177	-145.172	0.000

Tabla 4.24: Ganancias por tipo de *market maker*. *Spread* promedio: 2%.

de 0.015 cts. Como puede observarse en estas tablas, la volatilidad por operación es menor en la mayoría de los casos a la de las órdenes al mercado. Esto indica que el costo de operación es un factor muy importante que influye en la volatilidad del mercado, pues los *market makers* deben mantener *spreads* suficientes para cubrir dicho costo.

Conclusiones

La diversidad de participantes en el mercado usada en este trabajo no es muy amplia: agentes aleatorios, los cuales pueden tener cierta información y pueden responder de 3 maneras distintas a ella, o *market makers*. Con esta reducida diversidad se han podido observar diversos efectos, lo cual puede darnos una idea de la complejidad de un mercado real, en donde la diversidad es inmensamente mayor. Entre estos efectos, hemos destacado los que son debidos a la información y los debidos a la estructura del mercado. La información produce mayor volatilidad en el mercado y reduce el volumen de operación; este resultado es natural: si no existen inversionistas sin información o inversionistas con información adversa, nadie estará dispuesto a perder su riqueza. Se ha observado que no solo es importante tener información, también es necesario hacer un buen uso de ella: los agentes de largo plazo obtienen mejores ganancias que los otros dos tipos de agentes informados, aprovechando los incrementos altos en los precios de las acciones. Esta estrategia es muy útil, siempre y cuando no sea la que todos los demás participantes en el mercado siguen, pues entonces no produce ninguna ganancia, debido a la falta de liquidez.

Las restricciones del modelo de organización del mercado tienen un efecto directo en la liquidez y, en consecuencia, en la volatilidad. Como se señaló en el texto, la volatilidad disminuye conforme disminuyen las restricciones del modelo, siendo mayor en la doble subasta entre iguales y menor en el modelo con *market makers* (cuando tienen un *spread* reducido), el cual es el menos restrictivo de todos los modelos, pues los inversionistas aceptan cualquier precio (emiten órdenes al mercado), y los *market makers* siempre están dispuestos a cubrir la demanda de los inversionistas. Son de particular interés las estrategias de los *market makers*; como vimos, la única estrategia de las presentadas que fue exitosa es la de monopolio, pero un monopolio así no puede existir en un mercado real.

La adaptación se guía por el dilema de la exploración y la explotación: si se explota demasiado una estrategia, las ganancias serán menores, si no se hace una evaluación

suficiente, se escogerá una mala estrategia, si se hace una evaluación demasiado prolongada (el caso de la evolución cada 6 meses) será demasiado tarde para recuperar las pérdidas obtenidas durante la evolución o para aprovechar la estrategia adecuada. El modelo de organización influye en los resultados de la adaptación, pues determina la rapidez con la cual una estrategia proporciona resultados.

Quedan todavía muchos aspectos que revisar relacionados con este trabajo: estrategias para usar la información, estrategias para los *market makers*, algunos resultados que se muestran fuera de la tendencia general, etc, los cuales están contemplados para trabajos futuros. Los mercados reales comúnmente funcionan como una combinación de los 4 modelos de organización estudiados por separado en este trabajo. Los resultados obtenidos arrojan evidencias sobre los efectos de estos modelos y sirven de base para otros estudios, de modo que puedan hacerse recomendaciones concretas para el mejor funcionamiento de los mercados.

La concepción de este trabajo inició con la idea de crear el mercado financiero artificial, con el fin de tener un laboratorio flexible en el cual pudieran probarse los diferentes aspectos que afectan el comportamiento de un mercado. El modelo basado en agentes ha resultado muy satisfactorio, pues nos ha permitido la inclusión de participantes que han provisto de una gran riqueza y diversidad a los resultados. Muchas fueron las ideas que surgieron durante el desarrollo del NNCP, y muchas de ellas han sido incluidas en este trabajo. Las expectativas sobre futuros resultados son grandes: sin duda, tenemos un camino abierto.

Bibliografía

- [1] R.G. Palmer, W. B. Arthur, J.H. Holland, B. Lebaron, P. Tayler. *Artificial economic life: a simple model of a stock market*. Physica D 73. 1994. NH Elsevier. 1994
- [2] O. Biham, O. Malcai, M. Levy, S. Solomon. *Generic emergence of Power Law Distributions and Lévy-Stable Intermittent Fluctuations in Discrete Logistic Systems*. Physical Review, Vol 58, 1998.
- [3] C. R. Stephens, H. Waelbroeck. *Analysis of the effective degrees of freedom in genetic algorithms*. Physical Review E57, 3251. 1998.
- [4] C. R. Stephens, H. Waelbroeck, D. Sudarsky, F.Zevtuche. *Mercados Financieros Adaptivos*. Soluciones Avanzadas 56. 1998.
- [5] C. R. Stephens, H. Waelbroeck, D. Sudarsky, F.Zevtuche. *Adaptec: Tecnología de Sistemas Complejos a Disposición del Sector Financiero*. Soluciones Avanzadas 61. 1998.
- [6] S. Joshi, M. Bedau. *An explanation of generic behavior in an evolving financial market*. Working Paper 98-12-114E. Santa Fe Institute.
- [7] S. Joshi, J. Parker, M. Bedau. *Technical trading creates a prisoners dilemma: results from an agent based model*. Working Paper 98-12-115E. Santa Fe Institute.
- [8] J. Farmer. *Market force, ecology and evolution*. Working Paper 98-12-117E. Santa Fe Institute.
- [9] P. Gopikrishnan, V. Plerou, L. Nunes, M. Mayer, E. Stanley. *Scaling of the distribution of fluctuations of financial market indices*. Physical Review, Vol. 60. 1999.
- [10] B. Lebaron. *Evolution and time horizons in an agent based stock market* Working Paper. Brandeis University. 1999.

- [11] B. Lebaron. *Building financial markets with artificial agents: desired goals and present techniques*. Computational Markets. MIT Press. 1999
- [12] N. Chan, B. Lebaron, A. Lo, T. Poggio. *Agent based models of financial markets: a comparison with experimental markets*. Working Paper. Brandeis University. 1999
- [13] J. Krahnert, M. Weber. *Marketing in the laboratory: Does competition matter?*. Finance Working Paper Series #4. Universität Frankfurt. 1998.
- [14] J. Bradshaw. *An introduction to software agents*. AAAI Pres. 1997.
- [15] A. Monferrer. *Los mercados financieros*.
<http://megabolsa.com/biblioteca/financiero.htm>
- [16] J. Ellig. *Sea change at the stock exchange*. Citizens for a Sound Economy Foundation.
<http://www.cse.org/informed/20.html>. 1999
- [17] H.S. Nwana. *Software Agentes: An overview*. Knowledge Engineering Review. 1996.
- [18] S. Achelis. *Technical Analysis from A to Z*. <http://www.equis.com/free/taaz>.
- [19] Agent Based Computational Economics. Department of Economics. Iowa State University. <http://www.econ.iastate.edu/tesfasti>.
- [20] Laboratory for Financial Engineering. Artificial Markets Project. MIT.
<http://lfe.mit.edu/research/artificial-mkts.html>.
- [21] Virtual Financial Markets. Center for Biological and Computational Learning. MIT.
http://www.ai.mit.edu/projects/cbcl/res_area/finance/finance.html.

Apéndice A

Aleatoriedad del Mercado

El mercado, a través de la evolución del precio de la acción, es el medio en el cual los agentes interactúan, por lo que es de gran importancia escoger un modelo razonable de dicha evolución; esto es, el precio de la acción debe responder a las decisiones tomadas por los agentes. Los agentes deciden tomar una de tres posturas: comprar, vender o neutral; la regla general aquí es que el precio de la acción baja si existe un excedente de oferta, y sube si existe un excedente de demanda.

Como hipótesis inicial se ha considerado que un mercado financiero es fundamentalmente aleatorio. En un mercado real, las decisiones de los agentes son tomadas con base en un sinfín de criterios -no excluyendo criterios puramente subjetivos- lo que resulta en un comportamiento del precio de la acción impredecible. Dado esto, los primeros experimentos han consistido en un conjunto de agentes que escogen al azar su postura (con igual probabilidad para comprar, vender o neutrales) y observar si el modelo del mercado responde a esta aleatoriedad. Los pasos principales en la mecánica del mercado utilizada en estos experimentos es la siguiente:

1. Escoger al azar un agente y obtener su postura.
2. Actualizar el precio de la acción mediante el modelo de evolución del precio, el cual está basado en la oferta y la demanda existentes.

Esta mecánica implica que la oferta o demanda expresada por el agente se conserva hasta que el agente es seleccionado nuevamente. El modelo de evolución está dado por

$$P(t + 1) = P(t)(1 + \eta(F(t))) \quad (\text{A.1})$$

donde $P(t)$ es el precio de la acción, $F(t)$ es la diferencia entre el total de agentes con postura de compra y el total de agentes con postura de venta, η es una constante y t es la medida de tiempo usada; en este trabajo, hemos considerado esta medida como un *tick*, y a cada *tick* le corresponde una operación en el mercado. La Fig. A.1 muestra los resultados obtenidos en una simulación con 20 agentes y $\eta = 0.001$. En esta figura se muestra la evolución en la simulación completa (10000 pasos de tiempo), un acercamiento a los primeros 1000 pasos de tiempo, la oferta y demanda ($F(t)$) y la volatilidad del precio en función del *lag*. En la gráfica de la simulación completa puede observarse la fluctuación aleatoria en el precio de la acción, mientras que la gráfica de volatilidad corresponde a un proceso gaussiano. En la gráfica de precios también podemos observar tendencias hacia arriba o hacia abajo durante ciertos periodos de tiempo, las cuales pueden observarse con mayor claridad en el acercamiento. Con el fin de explicar la existencia de estas tendencias, se han analizado otros esquemas para determinar la oferta y demanda ($F(t)$), las cuales se presentan a continuación.

A.1 La oferta y demanda como un número aleatorio

Dado que los agentes deciden su postura de forma aleatoria, es natural pensar en la cantidad $F(t)$ como un número aleatorio cuyo rango es $[\text{TOTALAG}, -\text{TOTALAG}]$, donde TOTALAG es el número de agentes que participan en la simulación; es decir, $F(t)$ es un número que puede ser igual a TOTALAG (todos los agentes con postura de compra), a $-\text{TOTALAG}$ (todos los agentes con postura de venta) o cualquier otro número en ese rango (cualquier combinación de posturas de compra y venta). Los resultados obtenidos en una simulación usando este esquema, con una distribución de probabilidad uniforme para F se muestran en la Fig. A.2. Puede observarse en esta figura que el precio muestra una estructura con mas fluctuaciones que los resultados del esquema original, y la volatilidad es menos "lineal". La diferencia entre ambos esquemas es que en este último, el valor de la oferta y demanda está determinado por una distribución de probabilidad uniforme en el rango $[\text{TOTALAG}, -\text{TOTALAG}]$, esto es, la probabilidad de que $F(t) = \text{TOTALAG}$ y $F(t+1) = -\text{TOTALAG}$ es igual a la probabilidad de que $F(t) = \text{TOTALAG}$ y $F(t+1) = 0$ o cualquier otro valor, mientras que en el esquema original, la actualización de $F(t)$ consiste en escoger un agente y obtener su postura, de modo que

$$|F(t) - F(t+1)| \leq 2; \quad (\text{A.2})$$

es decir, $F(t) - F(t-1) = 0$ si el agente no cambia su postura, $F(t) - F(t-1) = 1(-1)$, si el agente cambia su postura de neutral a compra (venta) y $F(t) - F(t-1) = 2(-2)$ si cambia de venta a compra (o *vsa*).

A.2 Diferencia aleatoria

Dadas las consideraciones anteriores, se ha experimentado con un esquema de actualización donde $F(t)$ es un número aleatorio que puede tomar los valores $\{2, 1, 0, -1, -2\}$. La distribución de probabilidad usada es gaussiana, con media 0 y varianza 1. Los resultados se ven en la Fig. A.3; como puede observarse, la evolución en el precio de la acción tiene la misma estructura que los del esquema de número aleatorio, al igual que la volatilidad presenta los mismos patrones, aunque es menor. Esto se debe a que, en esencia, estos esquemas son exactamente iguales para un valor de TOTALAG de 2.

A.3 Diferencia aleatoria acumulada

Los esquemas anteriores no reflejan el esquema de actualización usada en nuestros experimentos iniciales. Como ya se ha mencionado, $F(t)$ puede cambiar de TOTALAG a -TOTALAG en un solo paso de tiempo, lo cual no sucede en el esquema inicial (a menos que solo exista un agente). Dado esto, el siguiente esquema consiste en actualizar $F(t)$ de modo que se cumpla la ecuación A.2:

$$F(t+1) = F(t) + D(t), \quad (\text{A.3})$$

donde $D(t)$ es un número aleatorio en el rango $\{2, 1, 0, -1, -2\}$, mientras que los esquemas de número aleatorio y diferencia aleatoria están dados por

$$F(t) = D(t), \quad D(t) \in [\text{TOTALAG}, -\text{TOTALAG}], \quad (\text{A.4})$$

y en particular el esquema de diferencia aleatoria

$$F(t) = D(t), \quad D(t) \in \{2, 1, 0, -1, -2\}. \quad (\text{A.5})$$

En la Fig. A.4 se muestran los resultados de una simulación usando el esquema de diferencia aleatoria acumulada, con una distribución de probabilidad gaussiana con media 0 y varianza 1; en esta figura puede observarse que la evolución en el precio muestra tendencias más marcadas que en el esquema original. Estas tendencias en el precio, en ambos modelos, tienen su origen en diversos factores. Supongamos que $F(0) = 0$, es decir, todas las posturas son neutrales, y supongamos que $D(1) = 1$ y por lo tanto, $F(1) = 1$, esto es, la primera postura es de compra. Si se usa una distribución de probabilidad uniforme, existe una probabilidad de $3/5$ de que $F(2) \geq F(1)$, es decir, la probabilidad de que $D(2)$ sea 2, 1 ó 0, mientras que la probabilidad de $F(2) < F(1)$ es $2/5$ (la probabilidad de que $D(2)$ tome los valores -1 ó -2; en otras palabras, la probabilidad de que $F(t)$ aumente es

Post(t)	Valor(t)	Post(t+1)	Valor(t+1)	$\Delta(B-O)$
C	1	C	1	0
C	1	N	0	-1
C	1	V	-1	-2
N	0	C	1	1
N	0	N	0	0
N	0	V	-1	-1
V	-1	C	1	2
V	-1	N	0	1
V	-1	V	-1	0

Tabla A.1:

ligeramente superior y, por lo tanto, la probabilidad de que el precio tenga un aumento es mayor; un análisis similar indica una probabilidad mayor de disminuir si $D(1) = -1$. Otro factor que contribuye a mantener una tendencia en el comportamiento del precio es que la ley de evolución utilizada (ecuación A.1) es acumulativa. Usando el ejemplo anterior y suponiendo que $D(2) = 0$, el precio sería

$$P(2) = P(1)(1 + \eta) = P(0)(1 + \eta)(1 + \eta) = P(0)(1 + \eta)^2, \quad (A.6)$$

esto es, la demanda no satisfecha ($D(1) = 1$) sigue contribuyendo al aumento del precio, esto explica las tendencias en la evolución de precio. Aunque el esquema de diferencia aleatoria acumulada se ajusta más al esquema original, aun existen diferencias en los resultados. Una de las razones es que la distribución de probabilidad usada para $D(t)$ es uniforme, mientras que para el esquema original las probabilidades son: $P(-2)=P(2)=1/9$, $P(-1)=P(1)=2/9$, $P(0)=3/9$; esta distribución se debe a que existe una sola situación para obtener un valor de 2 o -2 - cuando un agente cambia su postura de compra a venta o vsa-, dos para obtener un valor de 1 o -1 -cuando un agente cambia su postura de no hacer nada a compra o a venta- y tres para el valor 0 -cuando el agente no cambia su postura, sea compra, venta o no hacer nada-; otro factor que diferencia ambos modelos es el siguiente: en el primer modelo, la oferta y demanda ($F(t)$) se calcula a partir de las posturas de los agentes y el cambio en estas posturas generalmente revierte una tendencia, esto es, provoca un cambio de un número más positivo a otro más negativo o vsa. Si consideramos un agente, el cambio en sus posturas se muestra en la Tabla A.1 como podemos observar, existe una probabilidad de 4/9 de que la tendencia en oferta y demanda se revierta, 3/9 de que se mantenga igual y 2/9 de que aumente. La Tabla A.2 muestra el mismo análisis para dos agentes: La probabilidad de que la tendencia se revierta es 4/7, 1/7 de que se mantenga igual y 2/7 de que aumente. Estas probabilidades no se reflejan en el modelo

Post(t)	Valor(t)	Post(t+1)	Valor(t+1)	$\Delta(B-O)$
CC	2	CC	2	0
CC	2	CV	0	-2
CC	2	VC	0	-2
CC	2	VV	-2	-4
CC	2	CN	1	-1
CC	2	NC	1	-1
CC	2	NN	0	-2
VV	-2	VV	-2	0
VV	-2	CV	0	2
VV	-2	VC	0	2
VV	-2	CC	2	4
VV	-2	VN	-1	1
VV	-2	NV	-1	1
VV	-2	NN	0	2
NN	0	NN	0	0
NN	0	NC	1	1
NN	0	CN	1	1
NN	0	CC	2	2
NN	0	NV	-1	-1
NN	0	VN	-1	-1
NN	2	VV	-2	-2

Tabla A.2:

representado por la Ec. A.3.

A.4 El valor de η y el volumen de operación

En la sección anterior se ha descrito el modelo de evolución del precio en el mercado, el cual está determinado por la oferta y demanda y por la constante η , y se analizaron los efectos de diferentes esquemas de cálculo de la oferta y demanda. Ahora analizaremos los efectos de la constante η y su relación con el volumen de acciones de cada operación. Como se mencionó, los resultados anteriores fueron calculados con $\eta = 0.001$; la Fig A.5 muestra los resultados de una serie de experimentos en donde el valor de η es 0.1, 0.01, 0.001 y 0.0001, como era de esperarse, el precio de la acción presenta tendencias más marcadas cuando η aumenta, suponiendo un aumento en la volatilidad. Esto muestra la importancia del parámetro η en el efecto que tiene la oferta y demanda en el mercado virtual. Por otra parte, un cambio en el valor de η equivale a un cambio en el volumen de acciones de cada operación, es decir, una operación con un volumen de 1 acción y con $\eta = 0.01$ equivale a una operación con un volumen de 10 acciones y con $\eta = 0.1$. En la Fig. A.6 se muestran los resultados de una serie de simulaciones en donde el volumen de cada operación es 1,5,10 y 100, con $\eta = 0.001$; comparando esta figura con la anterior puede observarse la equivalencia entre un cambio en el valor de η y un cambio en el volumen de cada operación. Como conclusión, el parámetro *eta* debe ajustarse de acuerdo a la cantidad de oferta y demanda y al volumen de cada transacción en el mercado financiero artificial, a fin de producir resultados consistentes.

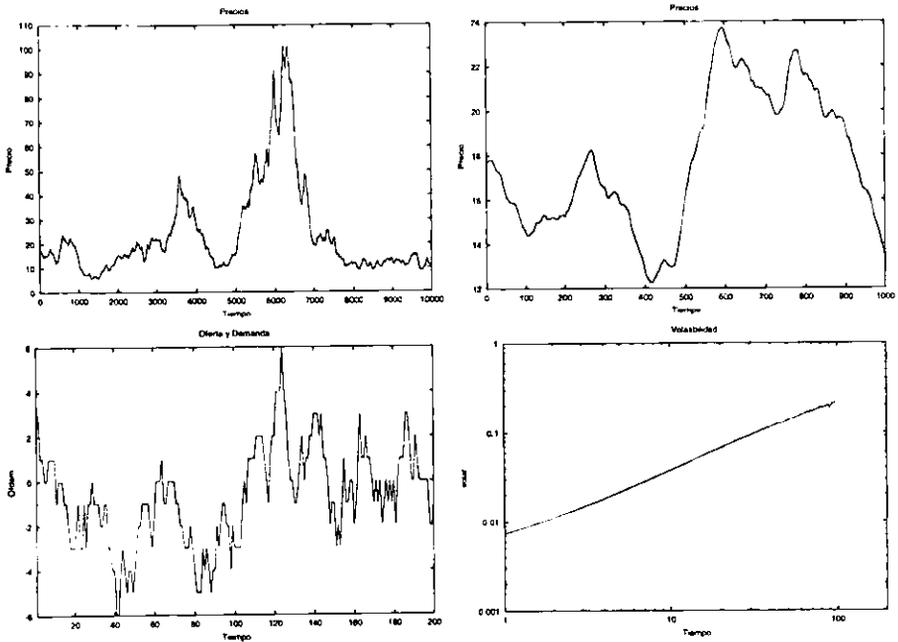


Figura A.1:

ESTA TESIS PERTENECE
DE LA BIBLIOTECA

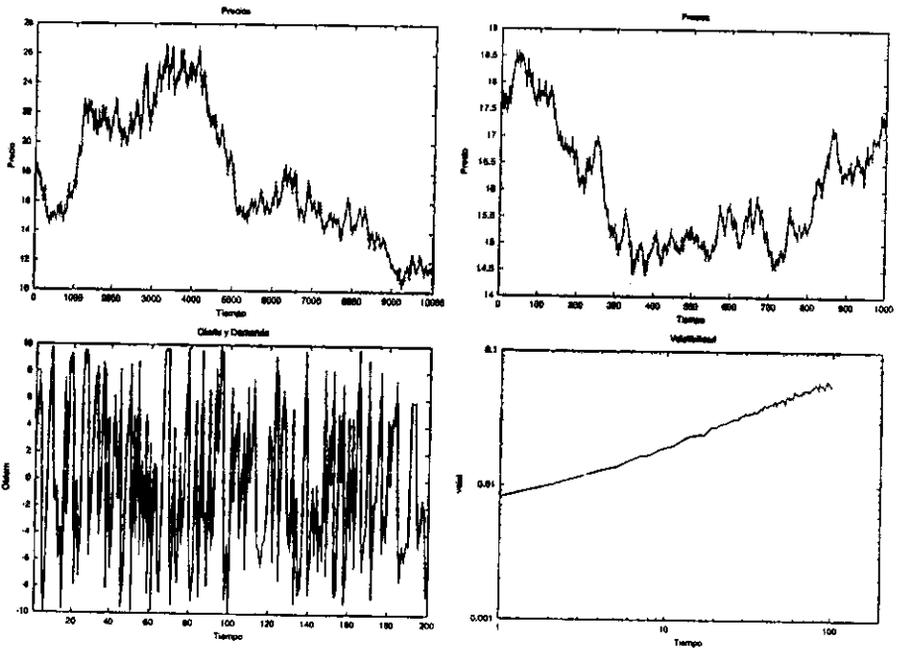


Figura A.2:

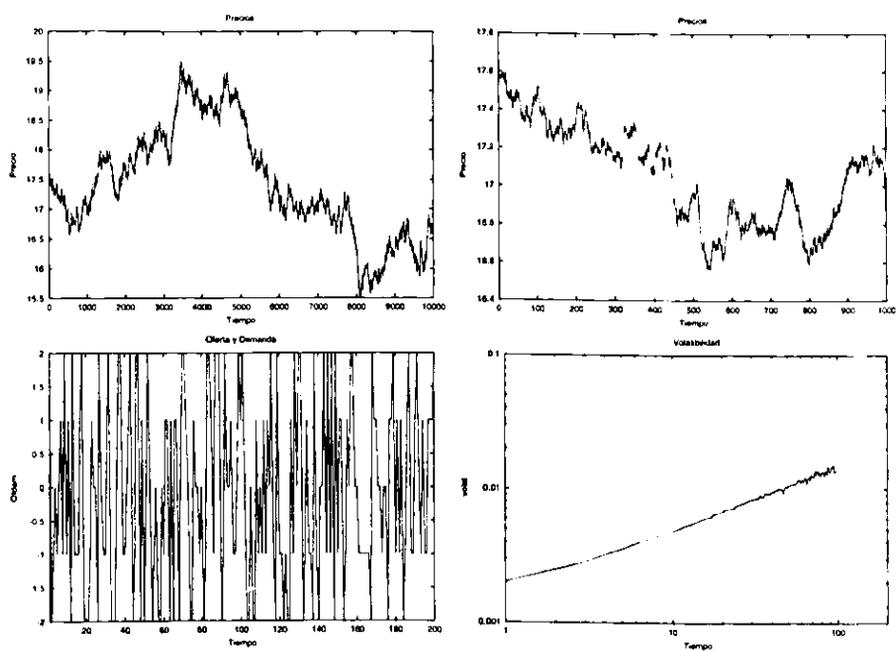


Figura A.3:

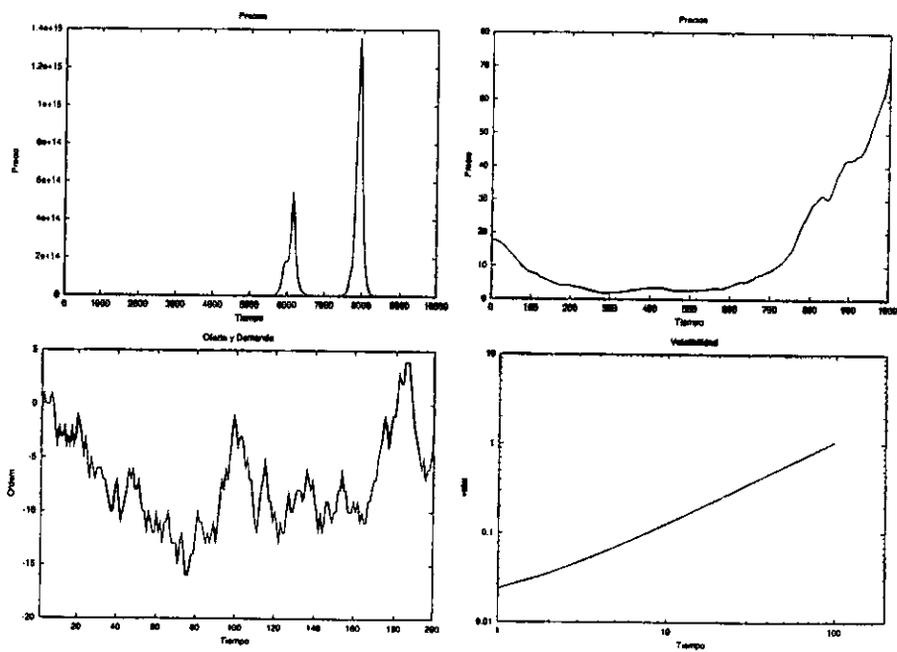


Figura A.4:

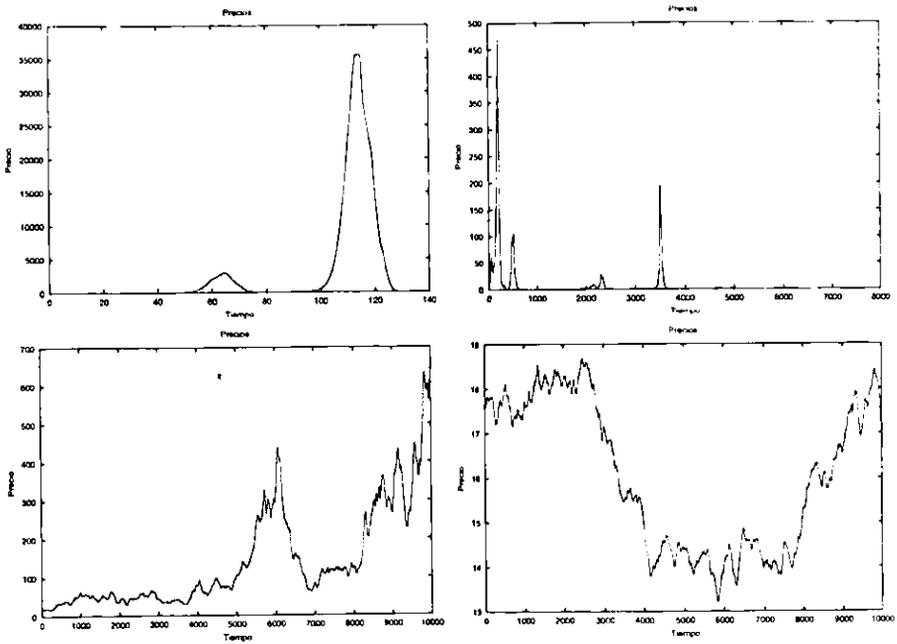


Figura A.5:

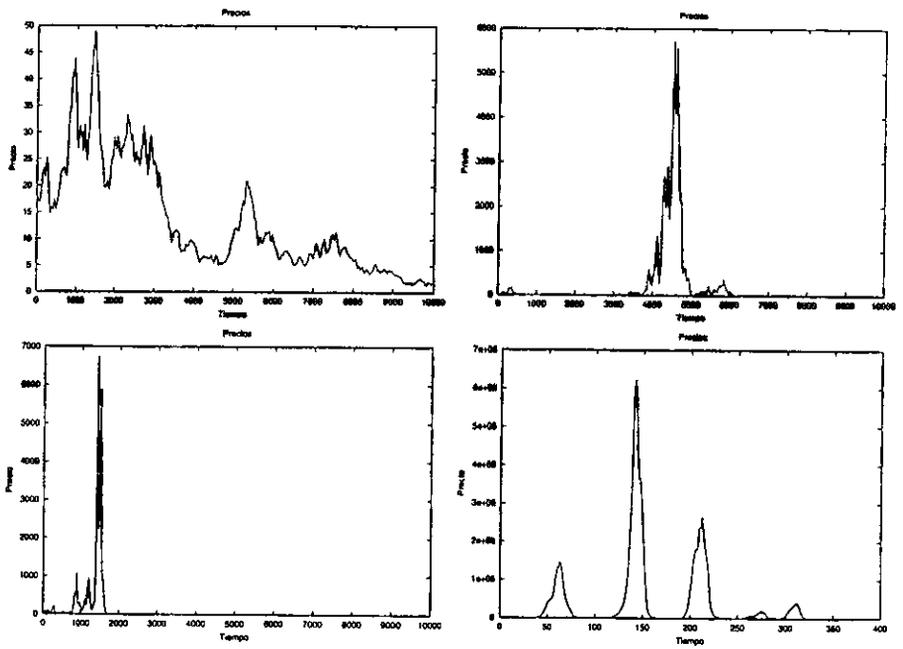


Figura A.6:

Apéndice B

El Código del NNCP

En este apéndice se listan las partes más importantes del código del NNCP, las cuales incluyen: las estructuras usadas, el programa principal, los modelos de organización, el mecanismo de decisión de los agentes, las estrategias de los market makers y el algoritmo genético.

```
/*Las estructuras*/

/* estrucutra para manejar las posturas la cola de ordenes al mercado*/
typedef struct ofdem_tag
{
    int side;/*la postura de los agentes en la cola (compra/venta/neutro)*/
    int numero;/*el numero de ag en la cola*/
    int ids[MAX_AGENTES];/*el id. de los agentes en la cola*/
} OFDEM;

/* Estructura para mantener el estado del mercado */
typedef struct Mercado_TAG{
    historia Precios[TOTALREGS];/*precios historicos para n dias*/
    float Volumen[TOTALREGS];/*volumen de transacciones durante el dia*/
    float precio;/*precio del mercado cada tick */
    int mmaker; /*el mmaker que hizo la ultima operacion*/
    int operacion;/*la ultima operacion (compra/venta)*/
    float earning;/*ganancias de la emisora, para agentes fundamentales*/
    DIVIDENDO dividendos[20];/*AQUI van los dividendos (PENDIENTES)*/
}
```

```

    int ultima_operacion;
}Mercado;

/* estructura para el registro del inventario de cada agente*/
typedef struct Clear_broker_TAG{
    int ID; /*ID del agente*/
    float No_de_acc[EMISORAS];/*Numero de acciones por agente (emisora 0=cash)*/
}Clear_broker;

/*estructura de las reglas para todos tipos de agente*/
typedef struct Regla_TAG{
    char condicion[MAXLONGCADENA];/*condicion de la regla*/
    char accion[3]; /*accion de la regla*/
    float fuerza; /*fuerza de la regla*/
} Regla;

/*estructura de agente*/
typedef struct Agente_TAG{
    int ID; /*identificador*/
    int side[EMISORAS]; /*0=compra, 1=venta 2=Nada*/
    float postura[EMISORAS]; /*el monto de la postura*/
    int volumen[EMISORAS]; /*el volumen*/
    int paquete[EMISORAS]; /* numero de acciones por unidad de volumen*/
    float pr_equil[EMISORAS]; /*precio de equilibrio considerado por el agente*/
    float personalidad; /*0=conservador, 1=agresivo */
    int tipo; /*0=fundamental, 1=tecnico, 2=MarketMaker*/
    int nervios; /* para los market makers*/
    Regla Reglas[NUMREGLAS_MAX]; /*Reglas por agente*/
    int noOperaciones; /*Operaciones realizadas*/
} Agente;

/*Las variables Globales*/

/* El numero de Agentes de cada tipo en la simulacion*/
int TOTAL_AF, TOTAL_AT, TOTAL_AL, TOTAL_MM, TOTAL_AFAT;
int TICKS_DIA; /* El numero de Ticks por cada dia*/

```

```

int TICKS_AG; /* numero de ticks del periodo del ag*/
float beneficio; /* Sirve para calcular el fitness de una regla o agente*/
int VOL_VAR, MOD_ACT; /*Modos de actualizacion, para los exp. del apendice*/
OFDEM pendientes; /*Para construir la cola en el mod. de ord. al mercado*/
gsl_rng * r ; /* generador de aleatorios */
int tipo_mercado; /*el tipo de mercado en que operara la simulacion*/
int DIAS_GENETICO_AGENTES; /*el periodo del genetico para los agentes*/

/* La parte principal*/
int main()
{
    int i, cliente; /*identificador para escoger un agente */
    char Analisis[MAXLONGCADENA]; /*El analisis del estado del mercado*/
    float intradia[MAX_AGENTES*5][EMISORAS-1]; /*los precios de cada dia*/
    int Dia=0; /*contador para das */
    int Tick=0; /*contador de ticks por da */
    int metodo; /*el modo de calcular el precio de acuerdo al tipo de mercado*/
    int activadas[NUMREGLAS_MAX]; /*reglas de agentes que fueron activadas */
    float ETA, volat; /*la ETA de la ecuacion de act. de precio*/
    Clear_broker Libro[MAX_AGENTES]; /*El libro de valores*/
    Clear_broker Libro_virtual[8]; /* Libro virtual para el agente dotado */
    Agente Agentes[MAX_AGENTES]; /*Los agentes*/
    Mercado Estado; /*Estado del mercado */
    float Precios[MAX_AGENTES*5000]; /*los precios por tick*/
    int globalTick=0, numeroOperaciones; /*contador global de ticks y de
                                         operaciones*/
    float MaxPrice=0; /*registro del precio maximo*/
    int DIAS; /*El numero de dias en la simulacion*/

    /* Inicializamos el generador aleatorio*/
    gsl_rng_env_setup();
    r = gsl_rng_alloc (gsl_rng_default);
    gsl_rng_set(r, (unsigned)time(NULL));
    printf("generator type %s\n", gsl_rng_name(r));

    /* El archivo de salida del AG (esto deberia ir en Inicializacion)*/
    info_genetico=fopen("arch_sal/info/genetico", "w");

```

```

/* Inicializamos Los agentes y el mercado*/
  Inicializacion( &metodo, &ETA, &DIAS, &Estado, Agentes, Libro);

/*inicializacion del libro de analisis del agente dotado
(esto deberia ir en Inicializacion)*/
  for(j=0;j<8;j++){
    Libro_virtual[j].No_de_acc[0]=DINERO;
    Libro_virtual[j].No_de_acc[1]=ACCIONES;
  }

/* Determinamos el numero de ticks de acuerdo al mercado:
  30 subastas para las dobles subastas o
  5 ticks por cada agente en las ordenes al mercado*/
  if( (tipo_mercado==0) || (tipo_mercado==1))
    TICKS_DIA=30;
  else
    TICKS_DIA=TOTAL_AFAT*5;

/* El interes por cada tick (250 corresponde a un a~o de simulacion)*/
  ir/=(250*(float)TICKS_DIA);

/* Inicializamos la cola*/
  pendientes.numero=0;

  while(Dia<DIAS){/* Este es el ciclo principal*/
    Precios[globalTick++]=Estado.precio;/*se va llenando
    el arreglo global de precios, por tick*/
  /* escogemos la accion a realizar dependiendo del tipo del mercado*/
    switch(tipo_mercado){

      /* La subasta entre mejores*/
      case SUBASTA_MEJOR_MEJOR:
        /* obtenemos la postura de todos los agentes*/
        for(i=0;i<TOTAL_AFAT;i++){
          LeeMercado(Estado, Analisis, Agentes[i]);
          GetPostura(Libro, Estado.precio, Analisis, &Agentes[i],

```

```

        activadas);
}

    /* obtenemos el volumen de operaciones realizado en la subasta*/
volumen=subasta_mejor_mejor(Agentes, Libro, Estado.precio,
                            &numeroOperaciones, Precios_operacion);
    /* Actualizamos el mercado y dejamos que el agente dotado
    haga su analisis*/
Actualiza_Mercado(&Estado, volumen);
agente_dotado(&Agentes[0], Libro_virtual, Estado.precio);
    /* Actualizamos el precio. El 8 es el metodo de actualizacion
    para estos modelos (ver nuevo_precio)*/
Estado.precio=nuevo_precio(Estado.precio, Agentes, 8, ETA);
break;

/* La subasta entre iguales sigue exactamente la misma secuencia de pasos*/
case SUBASTA_MATCH:
    for(i=0;i<TOTAL_AFAT;i++){
        LeeMercado(Estado, Analisis, Agentes[i]);
        GetPostura(Libro, Estado.precio, Analisis, &Agentes[i],
                    activadas);
    }
volumen=subasta_match(Agentes, Libro, Estado.precio,
                      &numeroOperaciones, Precios_operacion);
Actualiza_Mercado(&Estado, volumen);
agente_dotado(&Agentes[0], Libro_virtual, Estado.precio);
Estado.precio=nuevo_precio(Estado.precio, Agentes, 8, ETA);
break;

    /* Las ordenes al mercado*/
case COLA_DE_ORDENES:
cliente=escoge(); /*se escoge el agente y se obtiene su postura*/
LeeMercado(Estado, Analisis, Agentes[cliente]);
GetPostura(Libro, Estado.precio, Analisis,&Agentes[cliente], activadas);
    /* el analista (dotado) es el agente 0*/
if(cliente==0)
        agente_dotado(&Agentes[0], Libro_virtual,Estado.precio);
    /* ahora el metodo de act. del precio es el 0*/

```

```

Estado.precio=nuevo_precio(Estado.precio, Agentes, 0, ETA);
        /* Notese que en este metodo la postura modifica el
           precio antes de realizar la operacion*/
numeroOperaciones+=subasta_cola_ordenes(Agentes, cliente, Libro, &Estado);
break;

        /* El modelo con MM. La mecanica es casi la misma que en OM*/
        case MARKET_MAKERS:
cliente=escoge(); /*se escoge el agente*/
LeeMercado(Estado, Analisis, Agentes[cliente]);
GetPostura(Libro, Estado.precio, Analisis, &Agentes[cliente], activadas);
        /*Ordena el montage*/
show_montage(Agentes,1);
numeroOperaciones+=mercado_market_makers(Agentes, cliente, Libro, &Estado);
Precios_operacion[numeroOperaciones]=Estado.precio;
        /* Si hubo una operacion, se acutaliza el montage*/
if(Estado.ultima_operacion!=0){
        Actualiza_Montage(Agentes, Libro, 1, Estado ,ETA);
        actualiza_regla(Agentes, Libro, Estado.precio);
}

        /* si ya se cumplio el periodo del genetico para el MM*/
        if(!(Dia%DIAS_GENETICO_MM) && Dia >0 && band_genetico_mm){
genetico(Agentes, MM, Libro, Estado.precio);
band_genetico_mm=0;
        }
        break;
/* Para los modelos del Apendice A*/
        case PRUEBA_MODELOS:
LeeMercado(Estado, Analisis, Agentes[0]);
if(MOD_ACT)
        for(i=0;i<TOTAL_AFAT;i++)
GetPostura(Libro, Estado.precio, Analisis, &Agentes[i], activadas);
else{
        cliente=escoge();
        GetPostura(Libro, Estado.precio, Analisis, &Agentes[cliente], activadas);
}

        Estado.precio=nuevo_precio(Estado.precio, Agentes, metodo,ETA);

```

```

    }
    if(Estado.precio < PRECIO_MINIMO){
printf("!!!PRECIO MINIMO ALCANZADO !!!\n%f\n",Estado.precio);
break;
    }

    /*se acabo el switch*/
    intradia[Tick++][0]=Estado.precio;/*se actualiza el precio en
el da*/
    /*si llego el momento de aplicar el AG a los agentes*/
    if(!(Dia%DIAS_GENETICO_AGENTES) && Dia > 2 && band_genetico_ag){
printf("corre genetico en %i\n", Dia);
        /* se calcula la nueva fuerza para los agentes*/
nuevafuerza2(Agentes, Libro, Estado.precio);
genetico(Agentes, ALEATORIO, Libro, Estado.precio);
band_genetico_ag=0;
    }

    if(Tick==TICKS_DIA){/*si ya se acab el da (se mide en ticks
con la constante TICKS_DIA), ENTONCES:*/
        band_genetico_ag=1;
band_genetico_mm=1;
Dia++;
Tick=0;
Actualiza_Hist(&Estado,intradia,0,Dia);/*se actualiza el archivo historico*/
fprintf(cierre,"%f\n", Estado.Precios[TOTALREGS-2].cierre);
fprintf(promedio,"%f\n",Estado.Precios[TOTALREGS-2].promedio);
        /* Si se tiene que emitir un dividendo*/
if(!(Dia%DIAS_DIVIDENDO)){
    if( rand()/(float)RAND_MAX <0.5 && ind_div < 20){
Estado.dividendos[ind_div].monto=PR_EQ_BASE*normal_rand()/10;
Estado.dividendos[ind_div].tick=globalTick;
ind_div++;
    }
}
}

    /*Se imprimen las ganancias de los agentes*/
for(i=0;i<TOTAL_AFAT;i++)

```

```

fprintf(finfo[i], "%f %f %f\n", Libro[i].No_de_acc[1],
        Libro[i].No_de_acc[0], Libro[i].No_de_acc[1]*Estado
        .precio + Libro[i].No_de_acc[0]);

/*se acabo la simulacion*/
printf("numero final de ticks %i\n", globalTick);
printf("numero final de operaciones %i\n", numeroOperaciones);
/*Imprimimos los precios*/
for(i=0; i<globalTick; i++)
    fprintf(fp,"%f\n", Precios[i]);
fclose(fp);
/*Sacamos las estadisticas*/
fp=fopen("arch_sal/estadisticas/volat_percibidos.dat","w");
volat=volatibilidad(Precios,globalTick, fp);
fclose(fp);
/* Y los volúmenes de operacion por cada agente*/
volumenes(Agentes,Libro, numeroOperaciones, Precios[globalTick-1],
          fp, volat);
}

/* Funcion que obtiene el nuevo precio, ley de la oferta y la demanda
con distintos metodos*/

/* precio=precio actual
Agentes=Los agentes
metodo=el metodo a usar
*/
float nuevo_precio( float precio, Agente Agentes[MAX_AGENTES],
                  int metodo, float ETA)
{
float etamin, aleat, dif;
int i,j;
float B=0,0=0,promv=0,promc=0;
int senal;
    static int ant=0;

```

```

switch(metodo){

/*el metodo para las subastas*/
case 8:
for(i=0;i<TOTAL_AFAT;i++){
if(Agentes[i].side[1]==COMPRA){
/*solo si cumple con las restricciones*/
if(Agentes[i].postura[1] > precio){
/*Es un promedio*/
B+=Agentes[i].volumen[1]*(Agentes[i].postura[1]-precio)/precio;
}
}
else if(Agentes[i].side[1]==VENTA){
/*solo si cumple con las restricciones*/
if(Agentes[i].postura[1]< precio){
O+=Agentes[i].volumen[1]*(precio-Agentes[i].postura[1])/precio;
}
}
}
dif=B-O;
etamin=(float)ETA*(dif);
fprintf(ofdem,"%f\n", (float)dif);
break;
case 0:
/*El metodo para las ordenes al mercado*/
for(i=0;i<TOTAL_AFAT;i++){
/*simple suma de posturas*/
if(Agentes[i].side[1]==COMPRA)
B+=Agentes[i].volumen[1];
else if(Agentes[i].side[1]==VENTA)
O+=Agentes[i].volumen[1];
}
dif=B-O;
etamin=(float)ETA*(dif);
break;
/* Metodos aleatorios para el apendice*/

```

```
case 1:
    aleat=(rand()/(float)RAND_MAX-0.5)*TOTAL_AFAT;
    etamin=ETA*aleat;
    fprintf(ofdem,"%f\n", (float)aleat);
    break;
case 2:
    aleat=rand()/(float)RAND_MAX;
    if(aleat<0.2){
etamin=(float)ETA*2;
fprintf(ofdem,"%f\n", 2.0);

    }
    else if(aleat<0.4){
etamin=(float)ETA*1;
fprintf(ofdem,"%f\n", 1.0);
    }
    else if(aleat<0.6){
etamin=(float)ETA*0;
fprintf(ofdem,"%f\n", 0.0);
    }
    else if(aleat<0.8){
fprintf(ofdem,"%f\n", -1.0);
etamin=(float)ETA*-1;
    }
    else if(aleat<1){
fprintf(ofdem,"%f\n", -2.0);
etamin=(float)ETA*-2;
    }
    break;
case 3:
    aleat=rand()/(float)RAND_MAX;
    if(aleat<0.2){
ant+=2;
if(ant>TOTAL_AFAT) ant = TOTAL_AFAT;
etamin=(float)ETA*ant;
    }
    else if(aleat<0.4){
```

```

ant+=1;
if(ant>TOTAL_AFAT) ant = TOTAL_AFAT;
etamin=(float)ETA*ant;
    }
    else if(aleat<0.6){
etamin=(float)ETA*ant;
    }
    else if(aleat<0.8){
ant-=1;
if(ant<-TOTAL_AFAT) ant = -TOTAL_AFAT;
etamin=(float)ETA*ant;
    }
    else if(aleat<1){
ant-=2;
if(ant<-TOTAL_AFAT) ant = -TOTAL_AFAT;
etamin=(float)ETA*ant;
    }
    fprintf(ofdem,"%f\n", (float)ant);
    break;
case 4:
    aleat=rand()/(float)RAND_MAX;
    if(aleat<0.25){
ant+=2;
if(ant>TOTAL_AFAT) ant = TOTAL_AFAT;
etamin=(float)ETA*ant;
    }
    else if(aleat<0.5){
ant+=1;
if(ant>TOTAL_AFAT) ant = TOTAL_AFAT;
etamin=(float)ETA*ant;
    }
    else if(aleat<0.75){
ant-=1;
if(ant<-TOTAL_AFAT) ant = -TOTAL_AFAT;
etamin=(float)ETA*ant;
    }
    else if(aleat<1){

```

```

ant-=2;
if(ant<-TOTAL_AFAT) ant = -TOTAL_AFAT;
etamin=(float)ETA*ant;
    }
    break;
    fprintf(ofdem,"%f\n", (float)ant);
}
    /* El precio segun las ecuaciones se aladas en el texto*/
return (precio*(1+etamin))*(1+ir);
}
}

```

```

/* Analiza el estado del mercado segun el tipo de agente */
/* Estado: estado actual del mercado
   Analisis: El resultado del analisis
   Agente: El agente interesado
*/

```

```

void LeeMercado(Mercado Estado, char *Analisis, Agente Agentes)
{
int i, CadenaSize;
float r1;
    char res[3];
switch(Agentes.tipo){
/* si es tecnico o fundamental, realiza el analisis correspondiente*/
case TECNICO:
CadenaSize=CADENASIZE_AT;
    PromedioMovil( Estado, 28, res);
strcpy(Analisis,res);
PromedioMovil( Estado, 14, res);
strcat(Analisis, res);
PromedioMovil( Estado, 7, res);
strcat(Analisis, res);
MACD(Estado , 28, 16, 9, res);
strcat( Analisis,res);
MACD(Estado , 12, 6, 3, res);

```

```

strcat( Analisis, res);
break;
case FUNDAMENTAL:
CadenaSize=CADENASIZE_AF;
PE(Estado, Agentes, res);
strcpy(Analisis, res);
BVPS(Estado, res);
strcat(Analisis, res);
break;
/* si es MM o aleatorio, no realiza nada*/
case MM:
CadenaSize=CADENASIZE_MM;
for(i=0; i<CadenaSize; i++){
    r1=gsl_rng_uniform_pos(r);
    if(r1<=1/2.0)
        Analisis[i]='\0\';
    else
        Analisis[i]='\1\';
    }
    Analisis[i]='\'\0\';
break;
case ALEATORIO:
    CadenaSize=CADENASIZE_AL;
    Analisis[0]='\'\0\';
    return;
    break;
default:
CadenaSize=1;    /* tamao de la accion */
}
}

/* determina que reglas se activaran para el agente interesado
de acuerdo a las condiciones del mercado*/

/* Libro: Los portafolios de los agentes
precio: el precio actual

```

```

mercado: el estado del mercado
Agentes: el agente interesado
activadas: el conjunto de reglas activadas*/

void GetPostura(Clear_broker Libro[MAX_AGENTES], float precio,
  char *mercado, Agente *Agentes, int activadas[NUMREGLAS_MAX])
{
int NumReglas,i,j,elegida=-1;
    float fuerzatotal=0,temp, acum=0;
float lima, limb, limc, int_plazo, pop;
/* Ninguna regla activada aun*/
for(i=0;i<NUMREGLAS_MAX;i++) activadas[i]=-1;
switch(Agentes->tipo){
/* El numero de reglas depende del tipo de agente*/
case TECNICO:
NumReglas=NUMREGLAS_AT;
break;
case FUNDAMENTAL:
NumReglas=NUMREGLAS_AF;
break;
    case MM:
NumReglas=NUMREGLAS_MM;
break;

/* El sistema clasificador para los aleatorios es un tanto diferente*/
case ALEATORIO:
/*primero determinamos las probabilidades de comprar, vender o perma
necer neutrales para cada tipo de agente (inf y no inf)*/
if(!strcmp(Agentes->Reglas[0].condicion,"000")){
/*probabilidades tipo 00*/
    /*agentes no informados*/
lima=0.33;
limb=0.66;
limc=0.99;
}
else if(!strcmp(Agentes->Reglas[0].condicion,"001")){
/*probabilidades tipo 01*/

```

```

/* agentes informados plazo corto: 1 dia*/
  /* ir es el interes por tick*/
  int_plazo = ir*TICKS_DIA;
lima=0.33*(1+int_plazo);
limb=lima + 0.33*(1-int_plazo);
limc=0.99;
}
  else if(!strcmp(Agentes->Reglas[0].condicion,"010")){
/*probabilidades tipo 10*/
/* agentes informados plazo corto: 7 dias*/
  /* ir es el interes por tick*/
  int_plazo = ir*TICKS_DIA*7;
lima=0.33*(1+int_plazo);
limb=lima+0.33*(1-int_plazo);
limc=0.99;
}
  else if(!strcmp(Agentes->Reglas[0].condicion,"011")){
/*probabilidades tipo 01*/
/* agentes informados plazo corto: 14 dias*/
  /* ir es el interes por tick*/
  int_plazo = ir*TICKS_DIA*14;
lima=0.33*(1+int_plazo);
limb=lima+0.33*(1-int_plazo);
limc=0.99;
}
  else if(!strcmp(Agentes->Reglas[0].condicion,"100")){
/* plazo "x": 1 mes*/
  /*si es subasta, son ticks_dia oportunidades de hacer
  una operacion */
  int_plazo= ir*TICKS_DIA*20;
  pop=1.0/(20.0*(float)TICKS_DIA);
limc=1-pop;
lima=(pop/2.0)*(1+int_plazo);
limb= lima + (pop/2.0)*(1-int_plazo);
}
  else if(!strcmp(Agentes->Reglas[0].condicion,"101")){
/* plazo "x":2 meses*/

```

```

/*if( (tipo_mercado==0) || (tipo_mercado==1)){*/
    int_plazo= ir*TICKS_DIA*40;
    pop=1/(40*TICKS_DIA);
    limc=1-pop;
    lima=(pop/2.0)*(1+int_plazo);
    limb= lima + (pop/2.0)*(1-int_plazo);
    }
    else if(!strcmp(Agentes->Reglas[0].condicion,"110")){
/* plazo "x": 3 meses*/
/*if( (tipo_mercado==0) || (tipo_mercado==1)){*/
    int_plazo= ir*TICKS_DIA*60;
    pop=1/(60*TICKS_DIA);
    limc=1-pop;
    lima=(pop/2.0)*(1+int_plazo);
    limb= lima + (pop/2.0)*(1-int_plazo);
    }
    else if(!strcmp(Agentes->Reglas[0].condicion,"111")){
int target_acc;
/* plazo largo, 6 meses. intenta cambiar todo su dinero
en acciones*/
target_acc=ACCIONES + floor(30.9*( pow(ir*TICKS_DIA+1,125) -1))+1;
if(Libro[Agentes->ID].No_de_acc[1] < target_acc){
    lima=1;
    limb=1.1;
    limc=1.1;
}
else{
    lima=0;
    limb=0;
    limc=1;
}
}
}
/* ya que calculamos las prob. de cada regla, elegimos una al azar*/
temp=gsl rng uniform pos(r);
if(temp < lima){
elegida=0;
}
}

```

```

    else if(temp < limb ){
elegida=1;
    }
    else{
elegida=2;
    }
/* y obtenemos la reaccion correspondiente a la regla*/
    Reaccion(Libro, precio, Agentes, elegida);
    return;
}
/* Para los tecnicos y fundamentales:*/
j=0;
    for(i=0;i<NumReglas;i++){
if(compara(Agentes->Reglas[i].condicion,mercado, Agentes->tipo)==0){
    activadas[j++]=i;
    fuerzatotal+=Agentes->Reglas[i].fuerza;
}
    }
if (j!=0){ /* es decir, que si hubo al menos un match entre
    reglas y mercado, aplica ruleta para elegir una regla*/
temp=fuerzatotal*(rand()/(float)RAND_MAX);
    for(i=0;i<j;i++){
acum+=Agentes->Reglas[activadas[i]].fuerza;
        if(temp < acum){
elegida=activadas[i];
break;
        }
    }
}
else /* ningun match */
elegida=-1;
Reaccion(Libro, precio, Agentes, elegida); /* obtiene side y postura */
return;
}

/* Obtiene el side y el monto de la postura, de un agente dependiendo de

```

```

    la regla elegida*/
/* Libro: Los portafolios de los agentes
   precio: el precio actual de la accion
   Agentes: el agente interesado
   Elegida: la regla elegida en Getpostura
*/
void Reaccion(Clear_broker Libro[MAX_AGENTES], float precio, Agente
  *Agentes, int elegida){
  int vol_max;

/* si no se activo ninguna regla o la accion a tomar es neutral*/
  if (elegida == -1 || strcmp(Agentes->Reglas[elegida].accion,NADA_STR)==0
      || strcmp(Agentes->Reglas[elegida].accion,"11")==0){
Agentes->side[1]=NADA; /* Ni compra ni vende */
    return;
  }
  else{
/* si es compra*/
if(strcmp(Agentes->Reglas[elegida].accion,COMPRA_STR)==0){
  float aleat;
  Agentes->side[1]=COMPRA;
  /* obtenemos el monto de la postura con una distribucion
     gaussiana centrada en el precio y con var=3*/
  Agentes->postura[1]=precio + gsl_ran_gaussian(r, 1);
/* Vemos si le alcanza el dinero para comprar las acciones que desea*/
  if(VOL_VAR){
vol_max=floor(Libro[Agentes->ID].No_de_acc[0]/Agentes->postura[1]);
aleat=gsl_ran_gaussian(r, vol_max/10);
aleat+=vol_max/2.0;
Agentes->volumen[1]= floor(aleat);
  }
  else{
Agentes->volumen[1]=Agentes->paquete[1];
      /*sino le alcanza, revertimos su postura*/
      /*(no puede hacer ruido en el mercado sino tiene recursos*/
if(Libro[Agentes->ID].No_de_acc[0]<precio*Agentes->paquete[1]
    && CREDITO==0){

```

```

    Agentes->side[1]=NADA;
    }
    }
}
/* si es venta, hacemos lo mismo pero al reves*/
else{
    float aleat;
    Agentes->side[1]=VENTA;
    Agentes->postura[1]=precio + gsl_ran_gaussian(r, 1);
    if(VOL_VAR){
vol_max=Libro[Agentes->ID].No_de_acc[1];
aleat=gsl_ran_gaussian(r, vol_max/10);
aleat+=vol_max/2.0;
Agentes->volumen[1]=floor(aleat);
    }
    else{
Agentes->volumen[1]=Agentes->paquete[1];
if(Libro[Agentes->ID].No_de_acc[1] < Agentes->volumen[1]){
    Agentes->side[1]=NADA;
    strcpy(Resultados.estatus, "FALLO");
    strcpy(Resultados.razon, "NO HAY ACCIONES PARA VENDER");
}
    }
}

    }
    return;
}

/* Los modelos organizativos*/
/* Agentes: los agentes
   Libro: los portafolios
   precio: El precio actual
*/
int subasta_mejor_mejor(Agente Agentes[MAX_AGENTES],
Clear_broker Libro[MAX_AGENTES], float precio, int *noOperaciones,
float Precios_operacion[MAX_AGENTES*20000])

```

```

{
    int total_compra=0, total_venta=0, compras[MAX_AGENTES];
    int ventas[MAX_AGENTES], volumen=0;
    int i,j,h,cventas;
    int emisora=1;
    float temp;

    for(i=0;i<TOTAL_AFAT;i++){
        /* Ordenamos los agentes que quierern comprar (de mayor a menor monto*/
        /* el arreglo compras tiene los identificadores ordenados*/
        if(Agentes[i].side[emisora]==COMPRA){
            for(j=0;j<total_compra;j++){
                if(Agentes[compras[j]].postura[emisora]< Agentes[i].postura[emisora])
                    break;
            }
            for(h=total_compra; h>j;h--)
                compras[h]=compras[h-1];
            compras[h]=i;
            total_compra++;
        }
        /* Hacemos lo mismo con los que quieren vender, pero ordenados
        de menor a mayor*/
        else if(Agentes[i].side[emisora]==VENTA){
            for(j=0;j<total_venta;j++){
                if(Agentes[ventas[j]].postura[emisora]> Agentes[i].postura[emisora])
                    break;
            }
            for(h=total_venta; h>j;h--)
                ventas[h]=ventas[h-1];
            ventas[h]=i;
            total_venta++;
        }
    }
    /*ahora hacemos las cruzas*/
    tventas+=total_venta;
    tcompras+=total_compra;
    cventas=0;
}

```

```

for(i=0;i<total_compra;i++){
/*cventas lleva la cuenta de las ventas satisfechas*/
if(cventas>=total_venta)
break;
/*vamos juntando la mejor postura de compra (ind 0) con la
mejor de venta (ind 0).
solo si ambas posturas combienen a ambos agentes*/
if(Agentes[compras[i]].postura[1]>= Agentes[ventas[cventas]].postura[1]){
temp=Agentes[ventas[cventas]].postura[1];
/* el precio de la transaccion es el precio promedio de
las dos posturas*/
Agentes[ventas[cventas]].postura[1]=(Agentes[ventas[cventas]].postura[1]
+ Agentes[compras[i]].postura[1])/2;
Agentes[ventas[cventas]].postura[1]=temp;
Precios_operacion[*noOperaciones]=Agentes[ventas[cventas]].postura[1];
*noOperaciones=*noOperaciones+1;
Actualiza_Libro(&Agentes[compras[i]], &Agentes[ventas[cventas]], Libro, 1,
Agentes[ventas[cventas]].side[1]=NADA;
Agentes[compras[i]].side[1]=NADA;
volumen+=Agentes[ventas[cventas]].volumen[1];
cventas++;
}
}
return volumen;
}

/* para la subasta entre iguales la dinamica es muy similar*/
int subasta_match(Agente Agentes[MAX_AGENTES], Clear_broker
Libro[MAX_AGENTES], float precio, int *noOperaciones,
float Precios_operacion[MAX_AGENTES*20000])
{
int total_compra=0, total_venta=0, compras[MAX_AGENTES],
ventas[MAX_AGENTES], volumen=0;
int i,j,h,cventas;
int emisora=1;
float dif;

```

```

    for(i=0;i<TOTAL_AFAT;i++){
        /*ordenamos tanto a los de compra como a los de venta de mayor a menor*/
    if(Agentes[i].side[emisora]==COMPRA){
        for(j=0;j<total_compra;j++){
    if(Agentes[compras[j]].postura[emisora]< Agentes[i].postura[emisora])
        break;
        }
        for(h=total_compra; h>j;h--)
    compras[h]=compras[h-1];
    compras[h]=i;
    total_compra++;
}
else if(Agentes[i].side[emisora]==VENTA){
    for(j=0;j<total_venta;j++){
    if(Agentes[ventas[j]].postura[emisora]< Agentes[i].postura[emisora])
        break;
        }
        for(h=total_venta; h>j;h--)
    ventas[h]=ventas[h-1];
    ventas[h]=i;
    total_venta++;
}
}
}
tventas+=total_venta;
tcompras+=total_compra;
cventas=0;
for(i=0;i<total_compra;i++){
if(total_venta<=0){
    break;
}
    for(j=0;j<total_venta;j++){
    dif=fabs(Agentes[compras[i]].postura[1] - Agentes[ventas[j]].postura[1]);
    /*el match se hace solo si estan de acuerdo en el precio
        con 2 digitos de exactitud*/
        if( dif > 0 && (dif < 1e-3)){
    Precios_operacion[*noOperaciones]=Agentes[ventas[cventas]].postura[1];
    *noOperaciones=*noOperaciones + 1;

```

```

Actualiza_Libro(&Agentes[compras[i]], &Agentes[ventas[j]], Libro, 1, 1);
Agentes[ventas[j]].side[1]=NADA;
Agentes[compras[i]].side[1]=NADA;
volumen+=Agentes[ventas[cventas]].volumen[1];
for(h=j;h<total_venta-1;h++)
    ventas[h]=ventas[h+1];
total_venta--;
break;
    }
}

    }
    return volumen;
}

/* las ordenes al mercado (con y sin MM) se hacen en el clearing*/
int subasta_cola_ordenes(Agente Agentes[MAX_AGENTES], int ag_ind,
Clear_broker Libro[MAX_AGENTES], Mercado *Estado)
{
    return Clearing(Agentes, ag_ind, Libro, 1, Estado);
}
int mercado_market_makers(Agente Agentes[MAX_AGENTES], int ag_ind,
Clear_broker Libro[MAX_AGENTES], Mercado *Estado)
{
    return Clearing(Agentes, ag_ind, Libro, 1, Estado);
}

/* Esta es la rutina para el clearing de las ordenes al mercado*/
/* Agentes: los agentes
Ag_ind: el id del agente que quiere hacer la operacion
Libro: el portafolio de los agentes
Emisora: la emisora en cuestion
Estado : el estado del mercado
*/
int Clearing(Agente Agentes[MAX_AGENTES],int Ag_ind,
Clear_broker Libro[MAX_AGENTES], int emisora, Mercado *Estado){

```

```

int i, ind_del_min, j;
int noOperaciones=0;

/* si el agente decide no hacer nada, no hay nada que actualizar*/
if(Agentes[Ag_ind].side[emisora] == NADA){
    /* si la postura es neutral, y se esta haciendo el clearing por OM,
    hay que sacar al agente de la
    lista de pendientes*/
if(!CMM){
    for(i=0; i<pendientes.numero; i++)
if(pendientes.ids[i]==Agentes[Ag_ind].ID)
    break;
    if(i<pendientes.numero){
for(j=i; j<pendientes.numero-1; j++)
    pendientes.ids[j]=pendientes.ids[j+1];
pendientes.numero--;
    }
}
Estado->ultima_operacion=0;
    /* no se hizo ninguna operacion*/
return 0;
    }
/* si existen mm, hacemos el clearing con ellos*/
if(CMM){
    if(! (Clearing_mmakers(Agentes, Ag_ind, Libro, emisora, Estado, &ind_del_min)
return 0;
    )
    /* Si todo salio bien con los MM, actualizamos el numero de
    operaciones del MM que realizo la opeacion (ind_del_min)*/
Agentes[ind_del_min].noOperaciones+=Agentes[ind_del_min].volumen[emisora]
noOperaciones+=Agentes[ind_del_min].volumen[emisora];
/*actualizamos lso portafolios del MM y del agente*/
Actualiza_Libro(&Agentes[Ag_ind], &Agentes[ind_del_min], Libro,
emisora, Estado->ultima_operacion);
/*le cargamos el costo de operacion al market maker*/
Libro[Agentes[ind_del_min].ID].No_de_acc[0]-=0.1;

```

```

    /*actualizamos el mercado*/
    Actualiza_Mercado(Estado, Agentes[ind_del_min].volumen[emisora]);
}
else{
/*sino hay MM, vamos a la cola de ordenes (aqui mal-llamada subasta)*/
    int dem_in, dem_res;
    dem_in = dem_res = Agentes[Ag_ind].volumen[emisora];
    /*hasta satisfacer toda la demanda del agente*/
    while(dem_res>0){
if(! (Clearing_subasta(Agentes, Ag_ind, Libro, emisora, Estado, &ind_del_min)
    return 0;
dem_res = Agentes[Ag_ind].volumen[emisora];
noOperaciones+=(dem_in - dem_res);
Agentes[Ag_ind].volumen[emisora]=dem_in - dem_res;
        /*Actualizamos los portafolios del agente y del que le
        completo la operacion (un agente que estaba en la cola*/
    Actualiza_Libro(&Agentes[Ag_ind], &Agentes[ind_del_min],
Libro, emisora, Estado->ultima_operacion);
    Actualiza_Mercado(Estado, Agentes[ind_del_min].volumen[emisora]);
        dem_in = dem_res;
    Agentes[Ag_ind].volumen[emisora]=dem_res;
    }
}
/*el valor de regreso es el total de operaciones realizadas*/
return noOperaciones;
}

int Clearing_mmakers(Agente Agentes[MAX_AGENTES],int Ag_ind,
Clear_broker Libro[MAX_AGENTES], int emisora, Mercado *Estado, int *indice)
{
    int factor, comp, ind_del_min, i,band=0;
    float min;

    if(Agentes[Ag_ind].side[emisora]==COMPRA){ factor=1;comp=1;}
    else {factor=-1;comp=0;}
    /* el MM que tenga el mejor bid o ask (segun corresponda a la
operacion) es el que la realiza*/

```

```

        if(Agentes[Ag_ind].side[emisora]==COMPRA)
ind_del_min=montage_ventas[0];
        else
ind_del_min=montage_compras[0];
        /* A menos que ya no le alcancen los recursos*/
        if(Agentes[ind_del_min].volumen[emisora] < Agentes[Ag_ind].volumen[emisora])
Estado->ultima_operacion = 0;
return 0;
    }
    if(factor==1){
if(Agentes[Ag_ind].volumen[emisora]*Agentes[ind_del_min].postura[emisora] >
    Libro[Agentes[Ag_ind].ID].No_de_acc[0]){
Agentes[Ag_ind].side[emisora]=NADA;
Estado->ultima_operacion = 0;
return 0;
}
    }
    Estado->precio= Agentes[ind_del_min].postura[emisora];
    Estado->mmaker = Agentes[ind_del_min].ID;
    Estado->ultima_operacion = factor;
    Agentes[Ag_ind].side[emisora]=NADA;
    /*esto se lo regresamos a clearing para que se actualicen los libros*/
    *indice=ind_del_min;
    return 1;
}

/* Aqui se hace el clearing de las ordenes al mercado*/
int Clearing_subasta(Agente Agentes[MAX_AGENTES],int Ag_ind,
    Clear_broker Libro[MAX_AGENTES], int emisora, Mercado *Estado,
    int *indice)
{
    int ind_del_min,i, band,j, puede, op;

    /* si no hay cola de espera, ponemos al agente en la cola */
    if(pendientes.numero==0){
pendientes.ids[pendientes.numero]=Ag_ind;
pendientes.numero++;

```

```

pendientes.side=Agentes[Ag_ind].side[emisora];
Estado->ultima_operacion = NADA;
band= 0;
}
else{
/*si si hay cola de espera, pero es el mismo side, a~adimos al agente a la cola*/
if(pendientes.side==Agentes[Ag_ind].side[emisora]){
/*primero hay que buscar si ya esta en la cola*/
for(i=0;i<pendientes.numero;i++)
if(pendientes.ids[i]==Agentes[Ag_ind].ID)
break;
if(i==pendientes.numero){
pendientes.ids[pendientes.numero]=Ag_ind;
pendientes.numero++;
pendientes.side=Agentes[Ag_ind].side[emisora];
}
Estado->ultima_operacion = NADA;
band= 0;
}
/*si son posturas diferentes, realizamos la operacion con el primero de la cola*/
else{
/*primero vemos si el agente ya estaba en la cola*/
for(i=0;i<pendientes.numero;i++)
if(pendientes.ids[i]==Agentes[Ag_ind].ID)
break;
/* si esta, lo sacamos y hacemos la operacion con los que quedan*/
if(i<pendientes.numero){
printf("preparando recursion\n");
for(j=i;j<pendientes.numero-1;j++)
pendientes.ids[j]=pendientes.ids[j+1];
pendientes.numero--;
return Clearing_subasta(Agentes, Ag_ind, Libro, emisora, Estado, indice);
}
/* la operacion se realiza al precio actual del mercado*/
Agentes[pendientes.ids[0]].postura[1]=Estado->precio;
/* en el caso de compras*/
if(pendientes.side==COMPRA){

```

```

/* obtenemos el numero de acciones que puede comprar el primero en la cola*/
puede=(int)floor(Libro[Agentes[pendientes.ids[0]].ID].No_de_acc[0]/Estado->prec
/* si lo que puede comprar es menor a lo que quiere
   comprar, nos quedamos con lo que puede*/
if(puede < Agentes[pendientes.ids[0]].volumen[1])
    Agentes[pendientes.ids[0]].volumen[1]=puede;
op=Agentes[Ag_ind].volumen[1];
Agentes[Ag_ind].volumen[1]-=Agentes[pendientes.ids[0]].volumen[1];
Agentes[pendientes.ids[0]].volumen[1]-=op;
Estado->ultima_operacion = -1;
    }
    else{
        /* en el caso de venta, vemos que tanto puede comprar el agente
puede=(int)floor(Libro[Agentes[Ag_ind].ID].No_de_acc[0]/Estado->precio);
/* si puede comprar un numero menor de acciones, actualizamos su volumen*/
if(puede < Agentes[Ag_ind].volumen[1])
    Agentes[Ag_ind].volumen[1]=puede;
op=Agentes[Ag_ind].volumen[1];
Agentes[Ag_ind].volumen[1]-=Agentes[pendientes.ids[0]].volumen[1];
Agentes[pendientes.ids[0]].volumen[1]-=op;
Estado->ultima_operacion = 1;
    }
    ind_del_min=pendientes.ids[0];
    /* si la demanda del primero en la cola ya esta satisfecha, lo sacamos*/
    if(Agentes[pendientes.ids[0]].volumen[1] <=0){
for(i=0;i<pendientes.numero-1;i++)
    pendientes.ids[i]=pendientes.ids[i+1];
pendientes.numero--;
Agentes[ind_del_min].side[emisora]=NADA;
    }
    /* si la demanda del que realizo la operacion ya esta
       satisfecha, ponemos su side a nada*/
    if(Agentes[Ag_ind].volumen[1] <= 0)
Agentes[Ag_ind].side[emisora]=NADA;
    *indice=ind_del_min;
    band= 1;
}

```

```

    }
    return band;
}

/* Actualizacin del el Libro, una vez hecha la transaccin */
void Actualiza_Libro(Agente *Agentes, Agente *Market_maker,
                    Clear_broker Libro[MAX_AGENTES], int emisora, int operacion)
{
    int agente,market, factor;
    float viejo_wealth, nuevo_wealth;

    agente=Agentes->ID;
    market=Market_maker->ID;
    if(operacion==1){ factor=1;
    }
    else{ factor=-1;
    }
    Libro[agente].No_de_acc[0]-=Market_maker->postura[emisora]*
        (float)Agentes->volumen[emisora]*(float)factor;
    Libro[agente].No_de_acc[emisora]+=(float)Agentes->volumen[emisora]*
        (float)factor;
    Libro[market].No_de_acc[emisora]-=(float)Agentes->volumen[emisora]*
        (float)factor;
    Libro[market].No_de_acc[0]+=Market_maker->postura[emisora]*
        (float)Agentes->volumen[emisora]*(float)factor;
}

/* Actualiza las posturas de compra/venta de los Market makers,
es decir actualiza el Montage */

void Actualiza_Montage(Agente Agentes[MAX_AGENTES],
                      Clear_broker Libro[MAX_AGENTES], int emisora, Mercado Estado, float ETA)
{
    int i, factor, dif, h, band=0,j;
    float precio, spread, spread_up, spread_down, nuevo_spread;
    float aleat, aleat2;

```

```

int cambiados[MAX_AGENTES], pendientes[MAX_AGENTES];
int num_cambiados=0, num_pendientes=0, indice;
int regla;

for(i=TOTAL_AFAT;i<TOTAL_AFAT+TOTAL_MM*2;i+=2)
cambiados[Agentes[i].ID]=0;
for(i=TOTAL_AFAT;i<TOTAL_AFAT+TOTAL_MM*2;i+=2){
if(Agentes[i].ID==Estado.mmaker)
break;
}
/* el mmaker que hizo la operacion cambia siempre su postura*/
Actualiza_postura(Agentes, Libro, i, Estado, emisora);
cambiados[Agentes[i].ID]=1;
num_cambiados++;
/* Los demas tambien reciben su oportunidad*/
for(j=TOTAL_AFAT;j<TOTAL_AFAT+TOTAL_MM*2;j+=2){
num_pendientes=0;
for(i=TOTAL_AFAT;i<TOTAL_AFAT+TOTAL_MM*2;i+=2){
if(cambiados[Agentes[i].ID]==0){
pendientes[num_pendientes]=i;
num_pendientes++;
}
}
if(num_pendientes==0) break;
indice=gsl_rng_uniform_int(r, num_pendientes);
aleat2=gsl_rng_uniform_pos(r);
cambiados[Agentes[pendientes[indice]].ID]=1;
num_cambiados++;
/*tomamos en cuenta lo nervioso del MM para cambiar su postura*/
if(aleat2 < Agentes[pendientes[indice]].nervios){
Actualiza_postura(Agentes, Libro, pendientes[indice], Estado, emisora);
show_montage(Agentes, 0);

}
}
}

```

```

/* Actualiza la postura del MM de acuerdo a su estrategia*/
void Actualiza_postura(Agente Agentes[MAX_AGENTES],
  Clear_broker Libro[MAX_AGENTES], int j, Mercado Estado, int emisora)
{
  static int cont=0, regla=0;
  Agentes[j].pr_equil[emisora] = Estado.precio;
  Agentes[j+1].pr_equil[emisora] = Agentes[j].pr_equil[emisora];
  if(!strcmp(Agentes[j].Reglas[regla].condicion,"0000")){
inventario(Libro,Agentes, j, emisora, Estado,2);
  }
  if(!strcmp(Agentes[j].Reglas[regla].condicion,"1000")){
monopolio(Estado, Agentes, j, emisora,0);
  }
  if(!strcmp(Agentes[j].Reglas[0].condicion, "1001")){
monopolio(Estado, Agentes, j, emisora,1);
  }
  if(!strcmp(Agentes[j].Reglas[0].condicion, "1010")){
competencia(Libro, Agentes, Estado, j,emisora,0);
  }
  if(!strcmp(Agentes[j].Reglas[0].condicion, "1011")){
competencia(Libro, Agentes, Estado, j,emisora,1);
  }
  if(!strcmp(Agentes[j].Reglas[0].condicion, "1101")){
aleatorio(Agentes,j,emisora);
  }
  if(!strcmp(Agentes[j].Reglas[regla].condicion,"1110")){
inventario(Libro,Agentes, j, emisora, Estado,6);
  }
/* Si el MM esta fuera del juego, lo podemos regresar*/
  if(Agentes[j].postura[emisora] <= 0.0){
float temp;
temp=fabs(gsl_ran_gaussian(r,0.5)+2);
Agentes[j].postura[emisora]= Agentes[j+1].pr_equil[1]*(1-temp/100.0);
  }
  if(Agentes[j+1].postura[emisora] > 15000){
float temp;
temp=fabs(gsl_ran_gaussian(r,0.5)+2);

```

```

    }
}
else{
    Agentes[mmaker+1].postura[emisora] *=1.001;
    nuevo_spread = Agentes[mmaker+1].postura[emisora] -
                    Agentes[mmaker].postura[emisora];
    if(limite==1){
if(nuevo_spread > SPREAD_MAX)
        Agentes[mmaker+1].postura[emisora] -= (nuevo_spread -
                                                SPREAD_MAX);
    }
}
}
}

void aleatorio(Agente Agentes[MAX_AGENTES], int mmaker, int emisora)
{
    float aleat;
    aleat=fabs(gsl_ran_gaussian(r,0.3) + .75);
    Agentes[mmaker+1].postura[emisora]=(float)Agentes[mmaker+1]
        .pr_equil[emisora]*(1+aleat/100.0);
    aleat=fabs(gsl_ran_gaussian(r,0.3) + .75);
    Agentes[mmaker].postura[emisora]=(float)Agentes[mmaker].
        pr_equil[emisora]*(1-aleat/100.0);
}

void inventario(Clear_broker Libro[MAX_AGENTES], Agente
Agentes[MAX_AGENTES], int mmaker, int emisora, Mercado Estado, int umbral)
{
    int dif, temp;
    float aleat;

    dif= ACCIONES - Libro[Agentes[mmaker].ID].No_de_acc[1];
    /* si la diferencia es menor que cero, le sobran acciones en el inventario*/
    aleat=gsl_ran_gaussian(r, abs(dif));
    if( fabs(aleat) > umbral){

```

```

temp=Estado.ultima_operacion;
if(dif < 0)
    Estado.ultima_operacion=-1;
else
    Estado.ultima_operacion=1;
competencia(Libro,Agentes,Estado,mmaker,emisora,0);
Estado.ultima_operacion=1;
    }
    else{
aleatorio(Agentes,mmaker,emisora);
    }
}

/* el genetico*/

/* la fuerza (o fitness) se calcula a partir de las ganancias del agente*/
void nuevafuerza2(Agente Agentes[MAX_AGENTES], Clear_broker
Libro[MAX_AGENTES], float precio)
{
    int i;
    float bidh, beneficio, wealth_actual;
    for(i=0;i<TOTAL_AFAT;i++){
/*el bid and hold*/
        bidh=DINERO + ACCIONES*precio;
wealth_actual = Libro[Agentes[i].ID].No_de_acc[0] +
        Libro[Agentes[i].ID].No_de_acc[1]*precio;
beneficio=wealth_actual - bidh;
        /*el beneficio es para la regla 0, porque son agentes aleatorios*/
        Agentes[i].Reglas[0].fuerza=beneficio*0.1+1.0;
    }
}

void genetico(Agente Agentes[MAX_AGENTES], int tipo, Clear_broker
Libro[MAX_AGENTES], float precio)
{
    int i, cont=0, liminf, limsup,inc, longregla, limsupapl;
    Regla Reglas[MAX_AGENTES];

```

```

        if(tipo==MM){
limsup=TOTAL_AFAT+TOTAL_MM*2;
liminf=TOTAL_AFAT;
inc=2;
longregla=4;
limsupapl=TOTAL_AFAT+2;
        }
        else{
liminf=0;
limsup=TOTAL_AFAT;
inc=1;
longregla=3;
limsupapl=TOTAL_AFAT;

        }
        /*primero la ruleta*/
        /*recolectamos las reglas de los agentes*/
        for(i=liminf;i<limsup;i+=inc){
strcpy(Reglas[cont].condicion, Agentes[i].Reglas[0].condicion);
strcpy(Reglas[cont].accion, Agentes[i].Reglas[0].accion);
Reglas[cont].fuerza = Agentes[i].Reglas[0].fuerza;
cont++;
        }
        /* la ruleta nos va a proporcionar las mejores reglas (los agentes
        con mayor exito)*/
        seleccion_ruleta(Reglas, longregla, cont);
        cont=0;
        for(i=liminf;i<limsupapl;i+=inc){
strcpy(Agentes[i].Reglas[0].condicion, Reglas[cont].condicion);
strcpy(Agentes[i].Reglas[0].accion, Reglas[cont].accion);
Agentes[i].Reglas[0].fuerza=1;
if(tipo==MM){
        strcpy(Agentes[i+1].Reglas[0].condicion, Reglas[cont].condicion);
        strcpy(Agentes[i+1].Reglas[0].accion, Reglas[cont].accion);
        Agentes[i+1].Reglas[0].fuerza=1;
}
}

```

```

cont++;
    }
    for(i=liminf;i<limsup;i+=inc){
Agentes[i].Reglas[0].fuerza=1;
if(tipo=MM)
    Agentes[i+1].Reglas[0].fuerza=1;
    }

}

void seleccion_ruleta(Regla *Reglas, int long_regla, int num_reglas)
{
    float fuerza_total=0.0, acum, aleat;
    int i,j,ind_regla[8];
    float fuerzas_periodo[8];
    float min=1.0;

    Regla Nuevas_reglas[NUMREGLAS_MAX];
    /* primero obtenemos la fuerza minima*/
    for(i=0;i<num_reglas;i++)
if(Reglas[i].fuerza < min)
    min=Reglas[i].fuerza;
    /* y sumamos ese minimo a todas las reglas (para no tener fuerzas --)*/
    if(min<0){
min*=-1;
for(i=0;i<num_reglas;i++)
    Reglas[i].fuerza +=min;
    }
    fuerza_total=0;
    for(i=0;i<num_reglas;i++)
fuerza_total+=Reglas[i].fuerza;
    /* vamos a seleccionar num_reglas */
    for(i=0; i< num_reglas; i++){
acum=0.0;
aleat=gsl_rng_uniform_pos(r);
    /* seleccionamos cada una de las reglas*/
for(j=0;j<num_reglas;j++){

```

```

        acum+=Reglas[j].fuerza/fuerza_total;
        if(aleat <= acum){
/*se selecciono la regla*/
strcpy(Nuevas_reglas[i].condicion, Reglas[j].condicion);
strcpy(Nuevas_reglas[i].accion, Reglas[j].accion);
Nuevas_reglas[i].fuerza=1.0;
break;
        }
    }
    for(i=0;i<num_reglas;i++){
strcpy(Reglas[i].condicion,Nuevas_reglas[i].condicion);
strcpy(Reglas[i].accion, Nuevas_reglas[i].accion);
Reglas[i].fuerza=Nuevas_reglas[i].fuerza;
    }
}

void agente_dotado(Agente *Agentes, Clear_broker Libro[8], float precio)
{
    char condicion[4], regla[4];
    int i,j;

    regla[3]='\0';

    /*primero almacenamos la regla que esta usando el agente actualmente*/
    strcpy(condicion,Agentes->Reglas[0].condicion);
    /*ahora obtenemos la postura de cada regla*/
    for(i=0;i<8;i++){
/*construimos la cadena binaria corr. a i*/
        j=i;
regla[2]=j%2+48;
j=j/2;
regla[1]=j%2+48;
j=j/2;
regla[0]=j%2+48;
    }
}

```

```
strcpy(Agentes->Reglas[0].condicion,regla);
GetPostura(Libro, precio, (char *)0, Agentes, (int *)0);
if(Agentes->side[1]==COMPRA){
    Libro[i].No_de_acc[0]-=precio;
    Libro[i].No_de_acc[1]++;
}
strcpy(Agentes->Reglas[0].condicion, condicion);
}

}
```