



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MAESTRÍA EN CIENCIAS (FÍSICA)
INSTITUTO DE CIENCIAS FÍSICAS

MODELO BASADO EN AGENTES DE UN MERCADO FINANCIERO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS (FÍSICA)

PRESENTA:
ROBERTO MOTA NAVARRO

COMITÉ TUTOR:

Dr. HERNÁN LARRALDE RIDAURA
INSTITUTO DE CIENCIAS FÍSICAS

Dr. JOSÉ LUIS MATEOS TRIGOS
INSTITUTO DE FÍSICA

Dr. FRANCOIS LEYVRAZ WALTS
INSTITUTO DE CIENCIAS FÍSICAS

MÉXICO D.F., MAYO 2014



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.

Índice general

1. Resumen	5
2. Introducción y Conceptos Fundamentales	7
2.1. Sistemas Financieros	7
2.2. La Hipótesis de los Mercados Eficientes	18
2.3. Estadística de los Precios: Hechos Estilizados	21
2.4. Modelos Basados en Agentes	34
3. Descripción del modelo	39
3.1. Introducción	39
3.2. Aspectos generales del modelo	40
3.3. Tipos de agentes	40
4. Resultados	49
4.1. Comparación entre poblaciones de fundamentales y poblaciones mixtas.	49
4.2. Efectos de la tasa técnicos/fundamentales	58
4.3. Efectos del mecanismo de utilidades inmediatas	61
4.4. Ganancias	66
5. Conclusiones y perspectivas	71
6. Apéndice 1	73
6.1. Dinámica y algoritmos del modelo	73
7. Apéndice 2	87
7.1. Descripción formal de la estructura del modelo	87
8. Apéndice 3	89
8.1. Lista de símbolos	89

9. Apéndice 4	91
9.1. Resultados de la comparación de poblaciones	91
9.2. Resultados de la tasa técnicos/fundamentales	92
Bibliografía	94

Capítulo 1

Resumen

En el presente trabajo se construye y estudia un modelo basado en agentes de un mercado financiero con el que se reproducen ciertas propiedades estadísticas observadas en los mercados financieros reales llamadas *hechos estilizados*. El modelo que proponemos es de juguete en el sentido de que sólo elegimos representar los elementos de un mercado que consideramos mínimos necesarios para provocar la aparición de los hechos estilizados. Anteriores modelos basados en agentes ya han logrado reproducir varios de los hechos estilizados reportados en la literatura pero, por lo general, simplifican mucho uno de dos aspectos: el ambiente del mercado o el comportamiento de los agentes. En el modelo que proponemos intentamos capturar las características más importantes de cada aspecto y crear representaciones que imiten el comportamiento de los individuos en mercados reales junto con un mercado que utilice estructuras de comercio parecidas a las utilizadas en la vida real. El modelo es capaz de reproducir los tres principales hechos estilizados que reproducen la mayoría de los modelos más representativos del área y además puede reproducir un hecho estilizado que consiste en una asimetría entre la distribución de probabilidad de pérdidas y la de ganancias.

Capítulo 2

Introducción y Conceptos Fundamentales

2.1. Sistemas Financieros

Un sistema financiero se forma con *mercados financieros* e *instituciones financieras*. Los mercados financieros son como cualquier otro mercado en el que hay individuos que compran y venden distintos tipos de bienes y regatean los precios, la diferencia con respecto a un mercado normal es que en un mercado financiero se compran y venden *instrumentos financieros* como acciones, bonos, opciones, futuros, etc. Las instituciones financieras, por otro lado, son firmas (bancos comerciales, fondos de pensión, fondos de inversión, ...) que proveen de servicios financieros a sus consumidores e invierten sus fondos en instrumentos financieros en lugar de invertir en bienes básicos como oro o bienes raíces. Los sistemas financieros son importantes porque ayudan a canalizar dinero de individuos que cuenten con un excedente (*inversionistas*) de éste a individuos que los necesitan[How07].

La manera en que el dinero fluye entre los inversionistas y los individuos que solicitan una inversión se muestra esquemáticamente en la figura 2.1, en ésta se ve que existen dos mecanismos por medio de los cuales los fondos fluyen a través del sistema financiero: (1) financiamiento directo, en el cual los fondos pasan directamente a los mercados financieros y (2) financiamiento indirecto, donde los fondos pasan primero por un intermediario que comunica a los inversionistas con aquéllos que soliciten fondos. Independientemente del método de financiamiento, el objetivo es comunicar ambas partes al menor costo posible y de la manera más conveniente. Un sistema financiero eficiente es entonces muy importante porque

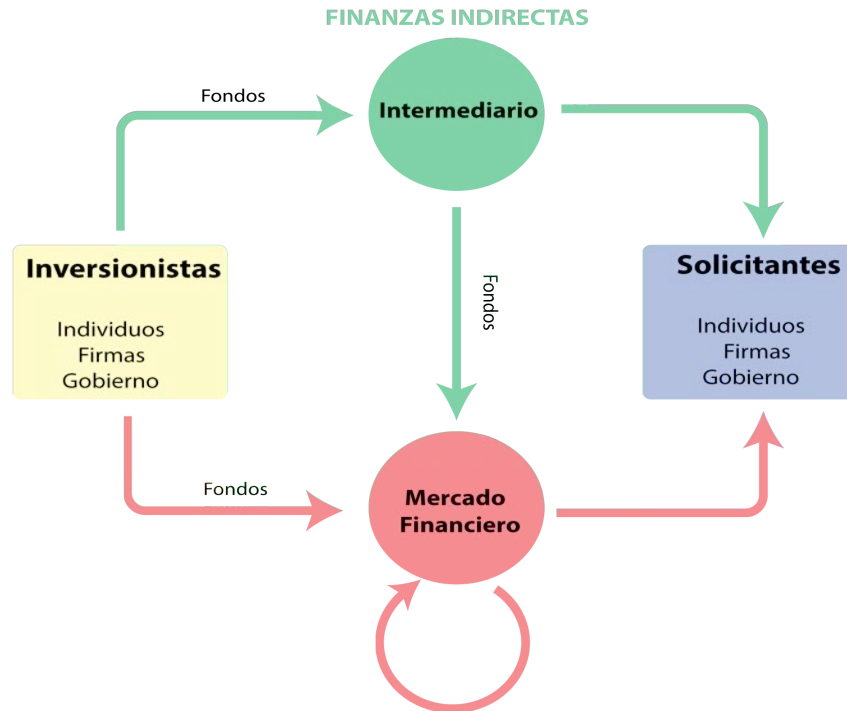


Figura 2.1: Esquema del flujo de fondos a través de un sistema financiero. Los fondos pueden fluir desde los inversionistas a aquellos que solicitan fondos de manera directa o a través de intermediarios.

garantiza la formación adecuada de capital para el crecimiento económico. De esta forma, si el sistema financiero trabaja apropiadamente, las unidades económicas que ofrecen buenas oportunidades de inversión pueden recibir fondos, por ejemplo, si General Motors necesita dinero para pagar una nueva planta de manufactura de carros, podría obtenerlos de manos de inversionistas al venderles bonos, que son un instrumento financiero en el cual General Motors promete hacer pagos periódicamente por un periodo de tiempo especificado.

2.1.1. Mercados Primarios y Secundarios

La venta de instrumentos financieros (bonos, acciones, ...) se realiza inicialmente en los llamados *mercados financieros primarios*. Para cada tipo de instrumento existe un mercado financiero. Un ejemplo de transacción en un mercado primario es la venta de acciones recientemente creadas. En los *mercados financieros secundarios* se realiza

la compra y venta de instrumentos con los que se ha comerciado previamente en algún mercado primario. Cuando un individuo compra un instrumento en el mercado secundario, el individuo que ha vendido el instrumento recibe dinero a cambio del instrumento, pero la compañía que lo expidió no adquiere nuevos fondos. Una corporación adquiere nuevos fondos sólo cuando sus instrumentos se venden por primera vez en el mercado primario. Sin embargo, los mercados secundarios cumplen dos importantes funciones[ME11]: primero, hacen más rápida y fácil la venta de instrumentos para adquirir dinero, a esta facilidad de transformar un bien en dinero se le llama *liquidez*. La liquidez hace más deseable a un instrumento y eso facilita a la compañía que lo expide venderlo en el mercado primario. Segundo, los mercados secundarios determinan el precio al que se coloca el instrumento por primera vez en los mercados primarios. Los inversionistas que compran instrumentos en el mercado primario no pagarán a las compañías que los expiden más del precio al que piensen que se venderán en el mercado secundario. A mayor precio en el mercado secundario, mayor precio se le asignará a un instrumento nuevo que se venda en el mercado primario y por lo tanto mayores serán los fondos que la compañía pueda recabar. Es por esto que las condiciones en el mercado secundario son las más importantes al momento de crear nuevos instrumentos.

Los mercados secundarios pueden organizarse de dos formas. Un método es organizar *bolsas*, donde compradores y vendedores de instrumentos se encuentran en una locación central para realizar transacciones o acceden a sistemas electrónicos en los cuales se pueden ejecutar transacciones mediante el uso de computadoras, siendo este último método de acceso el más utilizado en los últimos años. El NYSE, el American Stock Exchange (ASE) y la Bolsa Mexicana de Valores (BMV) son ejemplos de bolsas. El otro método de organización es crear un mercado *extra-bursátil*, en el cual individuos situados en diferentes locaciones ofrecen realizar transacciones de compra y venta sobre un inventario de instrumentos con los que cuentan a cualquiera que esté dispuesto a aceptar sus precios[Mis04]. Muchas compañías venden sus acciones a través de los mercados extrabursátiles, aunque la mayoría de las corporaciones grandes cotizan sus instrumentos en la bolsa de valores[Mis04].

2.1.2. Tipos de instrumentos financieros

La discusión sobre instrumentos financieros que se presenta a continuación tiene el objetivo de brindar una imagen general de las entidades con las que se comercia en un mercado financiero a las personas que se dedican a física y desconocen la naturaleza de esos instrumentos. Esto es importante porque los hechos estilizados que se pueden reproducir con el modelo no sólo se presentan en el mercado de acciones, así que a grandes rasgos se puede considerar que se comercia con cualquiera

de estos instrumentos en el modelo.

Bonos

En un sentido amplio, un bono es un instrumento que le da a su propietario el derecho de cobrar un pago en una fecha predeterminada, llamada fecha de vencimiento. La cantidad de dinero que se paga por un bono en el futuro es llamada *valor nominal*. Hay dos participantes en un bono: aquél que promete pagar el valor nominal o deudor, y aquél al que le serán otorgados los pagos o acreedor. El deudor expide un bono a cambio de una cantidad acordada previamente (el precio del bono). Por ejemplo, un acreedor paga 95 pesos hoy por un bono que será cobrado por 100 pesos dentro de un año. El acreedor puede después vender el bono a otra persona que se transforma en el nuevo acreedor. La diferencia entre el precio al que se vende el bono y el valor nominal es llamada interés. El interés visto de forma proporcional al valor total es llamado tasa de interés. Típicamente, aunque no siempre, un bono con un mayor tiempo de vencimiento otorga una tasa de interés mayor. Los bonos se caracterizan por su interés y su periodo de vencimiento. Los bonos son en general instrumentos seguros porque existe un pago garantizado en la fecha de vencimiento conocida de antemano. Los mayores riesgos a los que se exponen son la bancarrota de la entidad que emite el bono y la inflación. Los bonos se suelen clasificar según el tiempo en el que vencen como *bonos a corto plazo*, cuyo tiempo de vencimiento no es mayor a un año y *bonos a largo plazo*, cuando su tiempo de vencimiento excede de un año[CZ04]. Cuando un bono involucra sólo un pago inicial (el valor del bono) y sólo un pago final (el valor nominal) se dice que dicho bono es un *bono cero*, en estos, el interés que se paga al propietario del bono es solamente la diferencia entre el precio pagado por el bono y su valor nominal[Kid11]. Cuando un bono estipula que se realizarán pagos periódicos al propietario hasta que se alcance la fecha de vencimiento y se pague el valor nominal se dice que dicho bono es un *bono cupón*[ME11]. Estos bonos se suelen llamar así porque anteriormente el dueño del bono solía arrancar de éste un cupón y lo mandaba a la persona a la que compró el bono, mandando esta a su vez el pago correspondiente.

Acciones

Una acción es un instrumento financiero que emite una empresa para financiarse y que le confiere a su propietario el derecho a una porción de las ganancias que puedan ser distribuidas por la compañía que expide la acción o a la proporción correspondiente de la compañía en caso de que decida cerrar y liquidar sus bienes[CZ04].

Algunas compañías emiten acciones que le confieren a sus propietarios derechos de voto que pueden ejercer en la toma de decisiones corporativas. Al propietario de la acción se le llama *accionista*. Las ganancias que la compañía distribuye a los accionistas se llaman *dividendos*. En general los dividendos son inciertos y no se conocen de antemano y dependerán de las ganancias de la compañía y de las políticas de la empresa. La aleatoriedad de los pagos de dividendos y la ausencia de un valor nominal garantizado son las principales diferencias en el aspecto financiero que tiene una acción con respecto a un bono. Otra diferencia con respecto a los bonos es que las acciones, en principio, no expiran. Se dice que "en principio no expiran" porque aún si la compañía llegara a quebrar, sería liquidada y los accionistas recibirían parte del dinero obtenido en la liquidación. Por el otro lado, cuando no hay riesgo de que la compañía quiebre, se sabe con exactitud cuanto pagará un bono al vencerse. Con las acciones no existe esa posibilidad: los dividendos futuros son inciertos, al igual que el precio de la acción en el futuro, pues es principalmente el equilibrio entre la oferta y la demanda lo que determina el precio de las acciones. Por esta razón las acciones implican un mayor riesgo. Por ejemplo, si un individuo vende acciones en un día en el que el precio de esas acciones sea mayor que lo que pagó por ellas, obtendrá un rendimiento positivo, si las vende en un día que valgan menos de lo que pagó por ellas, perderá dinero, obteniendo un rendimiento negativo. En la figura 2.2 se ilustra el procedimiento de emisión y venta de acciones por parte de una compañía.

Derivados

Los derivados son instrumentos cuyo precio y rendimientos dependen del valor de otro instrumento al que se llama subyacente. Por ejemplo, un tipo de derivado llamado *futuro* consiste en un contrato que obliga a quien lo compra a comprar cierto bien en una fecha futura a un determinado precio fijado en el contrato. La relación entre el precio del derivado y el precio de su subyacente puede ser muy compleja y esto los hace instrumentos más riesgosos que las acciones o bonos pero permiten obtener mayores ganancias que la especulación en sus subyacentes[Mad14]. Los futuros suelen ser utilizados para compensar potenciales pérdidas. Por ejemplo, un productor de petróleo puede firmar un contrato de futuros con un fabricante de plásticos para vender a un precio determinado una cantidad dada de barriles de petróleo a 1 año a partir de que se firme el contrato. Al firmar dicho contrato, tanto el productor de petróleo como el fabricante de plásticos reducen riesgos futuros: el productor de petróleo se protege contra la incertidumbre del precio por barril y el productor de plásticos se protege contra la escasez de petróleo. El productor de petróleo reduce el riesgo de vender a un precio menor que el precio estipulado en el

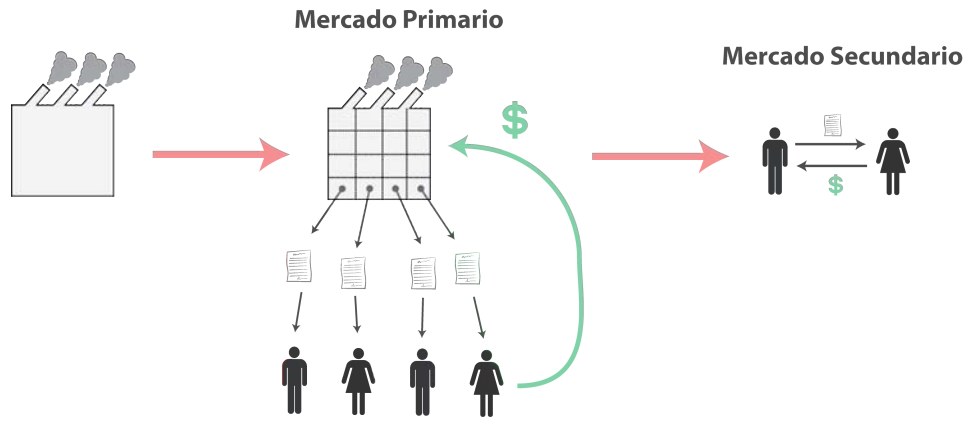


Figura 2.2: Esquema de la venta de acciones: una compañía genera un determinado número de acciones que otorgan derechos de propiedad sobre un fragmento de la compañía. Las acciones son vendidas por primera vez en un mercado primario siendo el dinero de la venta recabado por la compañía. Después, los inversionistas (que pueden incluir a la misma empresa que emite las acciones) comercian las acciones entre ellos en un mercado secundario; en estas transacciones el dinero ya no es canalizado hacia la compañía, sino hacia los mismos propietarios de las acciones.

contrato pero adquiere el riesgo de perder ganancias extra si el precio del petróleo es mayor. Similarmente, el fabricante de plásticos adquiere el riesgo de comprar petróleo al precio que estipula el contrato aún si los precios son menores al tiempo de hacer efectivo el futuro, pero se protege contra el riesgo de comprar a precios mayores.

2.1.3. Índices Financieros

Un índice es una medida del valor de un conjunto de acciones de compañías que se consideren como representativas de un mercado. Ejemplos de índices actuales son el Dow Jones, que mide el valor de 30 de las más grandes compañías de los estados unidos y el Standard&Poor's 500, que mide el valor de las acciones de las 500 mayores empresas enlistadas en el NYSE y NASDAQ y el Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) que lista a las 35 mayores empresas que cotizan en la BMV. Cada índice se calcula de distinta manera pero por lo general son medias ponderadas por el precio de las acciones o el valor de las compañías que las emiten. Usualmente el desempeño de los índices se suele tomar como medida del desem-

peño del mercado mismo, de manera que la frases *obtener mayores ganancias que el mercado* y *vencer al mercado* se refieren al hecho de lograr ganancias que superen a las generadas por el conjunto de acciones de algún índice.

2.1.4. Estructura de un mercado financiero

La mayoría de los mercados financieros operan con un sistema llamado *mecanismo de doble subasta*, en este, cada participante ingresa ofertas de compra o venta al precio que desee, siendo éstas ofertas visibles a cualquier otro participante del mercado. Cuando un comprador inserta una oferta a un precio que algún vendedor esté dispuesto a pagar, se ejecuta la transacción entre esos dos participantes. Ejemplos de este tipo de sistema son el New York Stock Exchange y el American Stock Exchange.

A una oferta de compra o venta se le llama *orden*. Si una nueva orden no es inmediatamente ejecutada al entrar al mercado por falta de participantes que estén dispuestos a comerciar al precio que estipula, dicha nueva orden es guardada en una lista llamada *libro de órdenes*. Las órdenes almacenadas en el libro de órdenes permanecen ahí hasta que sean canceladas o arriben otras ofertas compatibles con su precio. En las siguientes secciones se describe en más detalle cada una de estas estructuras para realizar transacciones.

Órdenes

Una orden es una instrucción que un *trader* (el agente que desea comprar o vender) le da a un *bróker* (la persona que se encarga de realizar la transacción). Estas instrucciones especifican con qué instrumento se desea comerciar, en qué cantidad, si se desea comprar o vender y también puede incluir información sobre las condiciones a las que desea que se cumpla la orden. Las condiciones más comunes limitan los precios que el trader está dispuesto a aceptar, otras condiciones pueden especificar por cuánto tiempo estará viva la orden o si es aceptable ejecutar la orden de manera parcial (que se venda/compre sólo una fracción del total indicado en la orden). Las órdenes son necesarias porque la mayoría de los traders no se encargan de ejecutar su transacciones personalmente. Aquéllos traders que se encargan de ejecutar sus transacciones personalmente tienen ventaja sobre los que utilizan órdenes porque pueden responder inmediatamente a los cambios del mercado, mientras que los otros deben anticipar dichos posibles cambios e incluir instrucciones que consideren apropiadas para enfrentar los cambios de mercado que les sean perjudiciales. Al mayor precio entre los precios de las órdenes de compra se le llama *mejor compra*

y al menor precio entre los precios de las órdenes de venta se le llama *mejor venta* y a la diferencia entre la mejor compra y la mejor venta se le llama *margen*.

Tipos de Órdenes

Existe una gran cantidad de tipos de órdenes pero la gran mayoría de las transacciones que se registran en los mercados financieros caen en una de dos categorías[BJP03]: *órdenes límite* y *órdenes a mercado*.

Las órdenes a mercado son instrucciones para realizar transacciones al mejor precio disponible en el mercado. Estas órdenes son ejecutadas rápidamente en mercados líquidos pero pueden hacerlo a precios distintos al último precio reportado y son normalmente utilizadas por individuos que desean inmediatez en la ejecución de sus órdenes incluso si existe el riesgo de obtener un precio desfavorable[Har02]. Una orden de compra a mercado se ejecutaría al precio de la mejor venta y una orden de venta a mercado se ejecutaría al precio de la mejor compra. Por el otro lado, las órdenes límite son instrucciones para realizar transacciones al mejor precio disponible pero sólo si éste no es peor que un *precio límite* dado, especificado por el trader que introduce la orden: para las órdenes límite de compra el precio al que se ejecute debe ser igual o menor que el precio límite; para las órdenes límite de venta el precio de ejecución debe ser igual o mayor que el precio límite.

Libro de órdenes

Se le llama libro de órdenes a la colección de todas las órdenes límite de compra y venta vigentes y representa el volumen total de bienes disponibles con los cuales se puede comerciar. Cuando una nueva orden llega al mercado, es almacenada en el libro si no existen órdenes previamente almacenadas compatibles con ella. La dinámica de las transacciones y por ende de los precios, depende entonces del flujo de órdenes que arriban al libro. Como las órdenes de mejor compra y mejor venta pueden ser ejecutadas con el arribo de nuevas órdenes, el margen es una cantidad dinámica que tiene la tendencia de crecer conforme llegan más órdenes de mercado y de hacerse más pequeño con el arribo de órdenes límite.

Normalmente la prioridad de ejecución de las órdenes es precio/tiempo, es decir, cuando una orden se introduce en el libro de órdenes, se le asigna una marca de tiempo. Esta marca de tiempo se usa para darle prioridad a las órdenes del libro que tienen el mismo precio, ejecutándose primero la orden que haya sido ingresada más temprano. No es necesario que una nueva orden se ejecute a un sólo precio,

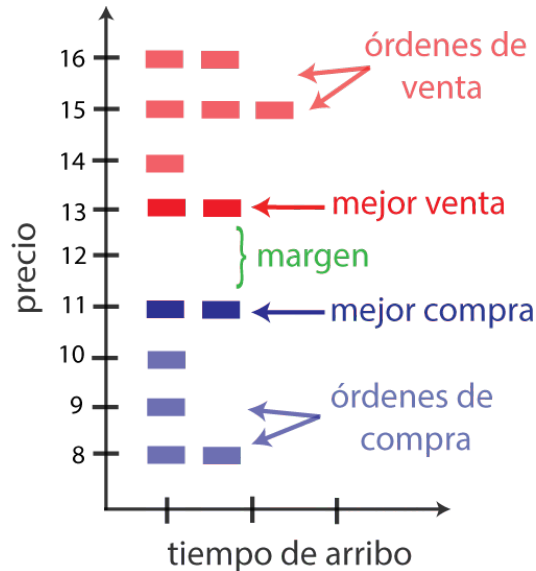


Figura 2.3: Esquema de un libro de órdenes.

es permitido que se generen varias transacciones parciales que consuman una fracción del volumen total a diferentes precios, cuando esto sucede, se comienza la ejecución por el mejor precio disponible y se sigue ejecutando en orden ascendente de precio hasta que se completa el volumen indicado en la nueva orden. De la misma manera, una orden se puede ejecutar en distintos puntos del tiempo. Por ejemplo, una orden nueva puede generar una ejecución parcial en el momento de entrar al libro mientras que el resto de la orden permanece guardada. La porción restante de la orden puede ser ejecutada minutos después, horas después o incluso días después, dependiendo de las especificaciones que da el dueño de la orden. Las órdenes a mercado siempre tienen prioridad sobre las órdenes límite pues su propósito es ser ejecutadas tan pronto como sea posible al mejor precio disponible. En el caso de las órdenes límite, aquellas con los mejores precios se ejecutan antes que las órdenes con precios menos competitivos (las de mayor precio para compras y las de menor precio para la ventas) y si dos órdenes tienen el mismo precio, la que llegó primero se ejecuta primero.

2.1.5. Estrategias de Inversión

Análisis Fundamental

El análisis fundamental es un conjunto de técnicas cuyo fin es la determinación del valor de un bien (comúnmente acciones) enfocándose en los factores fundamentales que afectan los negocios de la empresa que emite el bien y su posible futuro de crecimiento. Realizando análisis fundamental un inversionista intenta contestar las preguntas

- ¿Está la compañía en una etapa de crecimiento?.
- ¿Cuáles son las ganancias de la compañía?.
- ¿Es la compañía lo suficientemente fuerte como para lograr una ventaja sobre sus competidores en el futuro?.
- ¿Es capaz de pagar sus deudas?

Al explorar todos estos aspectos de una compañía se intenta conocer si comprar acciones de ella constituye una buena inversión. Los distintos factores fundamentales que definen la salud de una compañía se pueden agrupar en dos categorías:

- Cuantitativos - los cuales se pueden medir en términos numéricos.
- Cualitativos - los cuales están relacionados con el carácter de las propiedades de la empresa.

La mayor fuente de datos sobre los factores cuantitativos son los reportes de estado financiero que emiten de manera periódica las empresas. En éstos uno puede medir los ingresos, ganancias, bienes materiales, etc., con mucha precisión. Por el otro lado, los factores cualitativos son aquellos menos tangibles y difíciles de medir, por ejemplo, los miembros del consejo directivo, las patentes que posee, el reconocimiento de la marca entre los consumidores, etc.

Para obtener una imagen completa del estado económico en se encuentra una compañía es necesario obtener información de los dos tipos de factores fundamentales por igual. Por ejemplo, al analizar a Cemex un inversionista, éste considera en su análisis los rendimientos anuales de las acciones, las ganancias por acción, la relación precio de la acción versus ganancias, entre otras. Sin embargo, el análisis de

Cemex no estaría completo sin tomar en cuenta el reconocimiento de la marca entre los consumidores pues pocas compañías son tan reconocidas como Cemex en el sector de materiales de construcción. Es difícil medir qué tan reconocida es la marca de manera numérica, pero es evidente que esta propiedad es esencial para el éxito futuro de la empresa.

Una de las hipótesis que se hacen en el análisis fundamental es que el precio de la acción en el mercado no refleja completamente el valor real de la acción. Después de todo, no tendría sentido realizar un análisis de los factores fundamentales si los precios siempre estuvieran correctos. En la jerga financiera este "valor real" se suele llamar *valor intrínseco*. Por ejemplo, si las acciones de una compañía estuvieran vendiéndose a \$20 y después de analizar extensivamente los factores fundamentales de la compañía, se determina que en realidad cada acción debería costar \$25, es decir, se determina que el valor intrínseco de las acciones es \$25, entonces según el análisis fundamental, el precio de estas acciones está siendo subestimado y sería buena idea comprar. ¿Por qué es una buena idea comprar si se piensa que está subestimado el precio de una acción? Porque otras de las hipótesis del análisis fundamental es que en el largo plazo, los precios de la acción en el mercado alcanzarán su valor intrínseco, reflejando la situación de los factores fundamentales de la compañía. Entonces el objetivo principal del análisis fundamental es encontrar compañías que representen una buena inversión teniendo buena salud económica y que estén infravaloradas en el mercado, para obtener ganancias cuando el valor intrínseco de la compañía sea alcanzado. Desde luego, nunca es posible saber si la estimación del valor intrínseco es correcta y cuánto tardará el mercado en darse cuenta de que la compañía en realidad vale esa cantidad.

Análisis técnico

El análisis técnico es un método de valuación de bienes financieros basado en el estudio de los datos generados por la actividad del mercado tales como precios y volúmenes. El objetivo del análisis técnico no es medir el valor intrínseco de un bien sino utilizar las series de tiempo de los precios, volúmenes, etc. para tratar de identificar tendencias que sugieran el futuro de la actividad comercial. El hecho de utilizar exclusivamente la historia de los precios, volúmenes, número de transacciones, etc. es lo que separa al análisis técnico del análisis fundamental. Al contrario de cuando se realiza análisis fundamental, cuando se realiza análisis técnico es irrelevante considerar si un bien está infravalorado o no, lo único que se considera es el pasado de los datos y las predicciones que se puedan obtener de estos datos. El análisis técnico se basa en tres premisas principales[Mur99]:

- La historia de los precios captura toda la información relevante.
- Los precios se mueven siguiendo tendencias.
- Los patrones históricos de los precios se repiten.

Al realizar análisis técnico se asume que los precios de un bien reflejan todos los aspectos que afectan a la compañía que emite el bien, incluyendo los factores fundamentales. Los practicantes del análisis técnico normalmente suponen que además de los factores fundamentales, los factores psicológicos de los participantes del mercado están incluidos en la historia de los precios de manera que no es necesario considerar todos los aspectos que cambian el precio del bien de forma separada, analizando los precios uno analiza toda la información simultáneamente. La otra premisa es que los precios poseen una especie de inercia de manera que cuando se establece una tendencia (precios que a la alza o a la baja) la evolución de los precios tendrá más probabilidad de continuar con dicha tendencia que de abandonarla. Es basándose en esta premisa que los analistas técnicos generan sus predicciones de los movimientos futuros de los precios. La última premisa básica en la que se basa el análisis técnico es que los movimientos de los precios tienden a repetirse. La naturaleza repetitiva de los movimientos de precio se atribuye a la "psicología del mercado": los participantes del mercado reaccionan de la misma forma a determinados estímulos.

2.2. La Hipótesis de los Mercados Eficientes

2.2.1. Arbitraje

Se le llama arbitraje a la práctica de obtener ganancias aprovechando diferencias de precio de un mismo bien en diferentes mercados, por ejemplo, supóngase que a un tiempo dado la tasa de cambio euro-dólar en Alemania es $1 \text{ EUR} = 2 \text{ USD}$ mientras que en Estados Unidos la tasa dólar-euro es de $1.5 \text{ USD} = 1 \text{ EUR}$. Si se convirtieran 15 euros a 30 dólares en Alemania y luego se convirtieran esos 30 dólares a 20 euros en Estados Unidos, se obtendría una ganancia de 5 euros, siendo esta ganancia obtenida prácticamente sin incurrir en riesgo alguno.

La existencia de traders en busca de oportunidades de arbitraje provee a los mercados financieros de la capacidad de llevar al precio de un bien a su valor *libre de arbitraje*. Para ver cómo esto es posible, supóngase que un trader ha descubierto una oportunidad de arbitraje como la descrita en el ejemplo anterior con la tasa

de cambio dólar/euro. Este trader al ver la oportunidad procederá a aprovecharla y si todo resulta bien y obtiene ganancias, repetirá la misma acción para obtener más ganancias. Pero al estar constantemente comprando el trader en Nueva York y vendiendo en Alemania, la demanda de la acción crece en Nueva York y decrece en Alemania provocando que después de pasado un tiempo los precios de la acción en ambos mercados sean los mismos y eliminando él mismo su oportunidad de arbitraje. En la vida real esto sucede con frecuencia: continuamente aparecen oportunidades de arbitraje en los mercados pero tan pronto como estas oportunidades son observadas y explotadas, el mercado es movido de forma que elimina esas oportunidades de arbitrar.

2.2.2. Eficiencia Informacional de los Mercados

Los mercados financieros son sistemas que incorporan una gran cantidad de información acerca de un bien en la serie de tiempo de sus precios. El paradigma más aceptado entre los académicos que estudian finanzas es que los precios reflejan por completo la información pública disponible. A esta idea se le llama *hipótesis de los mercados eficientes* y fue formulada originalmente en los años 1960s[Fam70]. Se le califica de eficiente a un mercado si toda la información disponible concerniente a un bien es instantáneamente procesada cuando llega al mercado, siendo reflejada ésta en un cambio de precio del bien en cuestión. La motivación teórica de la hipótesis de los mercados eficientes tiene sus raíces en el trabajo de Bachelier, quien al comienzo del siglo veinte propuso que los precios de los bienes en los mercados financieros pueden ser descritos como procesos estocásticos, de manera que los rendimientos futuros son impredecibles. El trabajo de Bachelier permaneció prácticamente desconocido hasta mediados de la década de 1950, cuando varios análisis empíricos revelaron que las funciones de auto-correlación a escalas de tiempo cortas eran despreciables y que el comportamiento aproximado de las series de rendimientos era el de caminatas aleatorias descorrelacionadas. La hipótesis de los mercados eficientes fue formulada en su forma actual en 1965 por Samuelson[Sam65] quien mostró matemáticamente que los precios propiamente anticipados varían de manera aleatoria. Utilizando la hipótesis de comportamiento racional y eficiencia de mercados, Samuelson demostró cómo Y_{t+1} , el valor esperado del precio al instante de tiempo $t + 1$, está relacionado con los valores previos de los precios Y_0, Y_1, \dots, Y_t según la relación

$$E[Y_{t+1}|Y_0, Y_1, \dots, Y_t] = Y_t \quad (2.1)$$

A un proceso estocástico que sigue la esperanza condicional dada por 2.1 se le llama martingala e intuitivamente se puede ver como un modelo probabilista de un juego justo en el cual las ganancias y las pérdidas se cancelan y la esperanza de la riqueza futura coincide con la riqueza que se posee en el presente. La conclusión de que los precios siguen una martingala es equivalente a aseverar que no existe forma de obtener ganancias sobre un bien utilizando sólo la historia de los precios que ha alcanzado el bien. La conclusión de esta "forma débil" de la hipótesis de los mercados eficientes es entonces que los cambios de precio son imposibles de predecir utilizando la serie de precios pasados. Al hacer más fuertes las premisas de la hipótesis se obtiene la "forma semi-fuerte" en la que se supone que los precios incorporan instantáneamente toda la información pública concerniente a un bien, de manera que es imposible obtener ganancias que superen al mercado haciendo uso de esa información. La última forma, que tiene las premisas más restrictivas y es llamada "forma fuerte" de la hipótesis, sostiene que los precios reflejan toda la información disponible en el mercado, tanto la pública como la privada, de manera que es imposible obtener ganancias superiores a las del mercado haciendo uso de esta información. La hipótesis de los mercados eficientes implica entonces que el análisis técnico no es efectivo porque los precios pasados no afectan el presente y que tampoco el análisis fundamental es efectivo porque los precios siempre incorporan toda la información disponible.

Desde la década de los 70s, un gran número de investigaciones empíricas han tenido como objetivo probar la eficiencia de los mercados[Gim12, UM14, Shu13, Shi80, Bas77, Mal03, TG04]. En la gran mayoría de los estudios empíricos se ha encontrado que las auto-correlaciones de los cambios de precio son de magnitudes despreciables, en acuerdo con la eficiencia de los mercados. Sin embargo, se ha mostrado desde los 80s que al utilizar la información presente en las series de tiempo de los dividendos, la tasa ganancias/precio de acción y otras, es posible obtener predicciones de los rendimientos en una determinada escala de tiempo, más larga que un mes[LM88, BCM90, RKJ76, JT93, PT95]. Estas observaciones empíricas han cuestionado la validez de la forma más estricta de la hipótesis de mercados eficientes.

El debate sobre la veracidad de la hipótesis de mercados eficientes continúa siendo un tema de investigación en la actualidad. La evidencia parece apuntar a que la eficiencia es un razonable punto de partida para evaluar el comportamiento de los mercados. Sin embargo, existen importantes violaciones de la eficiencia que dan indicios de que la eficiencia no es generalizable a todos los comportamientos de los mercados. Estas ineficiencias proveen de oportunidades de arbitraje estadístico, el cual consiste en lograr ganancias superiores a las del mercado incurriendo en poco riesgo, basándose en conjeturas estadísticas sobre diferencias en la esperanza del precio de algún bien. Como consecuencia de la explotación de dichas oportuni-

des de arbitraje, los participantes terminan eliminándolas rápidamente.

2.3. Estadística de los Precios: Hechos Estilizados

En las últimas cinco décadas se han vuelto disponibles una gran cantidad de conjuntos de series de tiempo de precios de diversos mercados financieros que han sido sujetos de análisis para caracterizar sus propiedades estadísticas. Del estudio de estos datos se ha identificado un conjunto de propiedades estadísticas comunes a lo largo de distintos mercados, periodos de tiempo e instrumentos. La universalidad de estas propiedades es intrigante pues los eventos que afectan los cambios de precio en diferentes mercados son de naturaleza muy diferente. Uno podría imaginar que las propiedades estadísticas de los precios de las acciones de Apple deberían ser notablemente distintas de las propiedades del precio de futuros de Petróleo, sin embargo, el resultado de los más de 50 años de análisis arroja que las variaciones de los precios comparten algunas propiedades estadísticas no triviales a las que les se ha denominado *hechos estilizados*.

2.3.1. Notación

En las siguientes secciones se utilizará la siguiente notación para las diversas series de tiempo que son objeto de análisis estadístico: se denotará por $S(t)$ al precio de un instrumento financiero, donde dada una escala de tiempo Δt , $S(t)$ corresponderá al precio de la última transacción realizada en el periodo $(t - \Delta t, t)$. $X(t) = \ln S(t)$ será el logaritmo del precio y los rendimientos logarítmicos, que representan los cambios proporcionales de precio, serán denotados como $R(t, \Delta t) = X(t + \Delta t) - X(t)$ y en los sucesivos se les llamará simplemente rendimientos.

2.3.2. Ausencia de correlaciones lineales

Es un hecho conocido que la función de auto-correlación de los retornos en mercados suficientemente líquidos es esencialmente cero, donde la función de auto-correlación está dada por

$$C(\tau) = \text{corr}(R(t, \Delta t), R(t + \tau, \Delta t)) \quad (2.2)$$

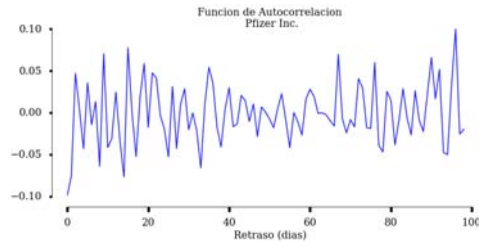


Figura 2.4: Autocorrelación de los rendimientos de la empresa Pfizer Inc. en el intervalo 2008 a 2014. Fuente de los datos: Yahoo Finance. Figura de elaboración propia.

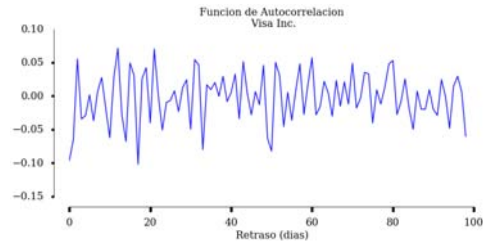


Figura 2.5: Autocorrelación de los rendimientos de la empresa Visa Inc en el intervalo 2008 a 2014. Fuente de los datos: Yahoo Finance. Figura de elaboración propia.

Figura 2.6: Funciones de auto-correlación de los rendimientos de Visa Inc. y Pfizer Inc. En ambos casos la correlación permanece esencialmente nula para todo tiempo.

Esta característica soporta la hipótesis de los mercados eficientes pues al no estar correlacionados los rendimientos, los signos de los cambios de precio: $S(t + \Delta t) - S(t)$ son impredecibles. Como consecuencia de la impredecibilidad de los signos en los cambios de precios, siempre se incurre en riesgo al participar en el mercado, independientemente de la estrategia de inversión utilizada. Dicho de otra forma, no es posible hacer arbitraje. Por esta última razón es que a la ausencia de correlaciones también se le suele llamar *ausencia de arbitraje simple* [Cri13].

En las figuras 2.4 y 2.5 se muestra la función de auto-correlación de los rendimientos día a día de Visa y Pfizer en el periodo 2008-2014, en ambas la auto-correlación es esencialmente nula.

2.3.3. Aglomeración de la Volatilidad

La ausencia de correlaciones en los rendimientos se ha utilizado como evidencia que confirma una serie de modelos en los cuales se asume que los precios forman caminatas aleatorias con rendimientos independientes e idénticamente distribuidos. Sin embargo, en adición a la ausencia de auto-correlaciones también se observa que funciones no lineales de los rendimientos exhiben auto-correlaciones positivas. Estas auto-correlaciones positivas son incompatibles con la independencia de los rendimientos pues para ser éstos independientes no sólo las auto-correlaciones

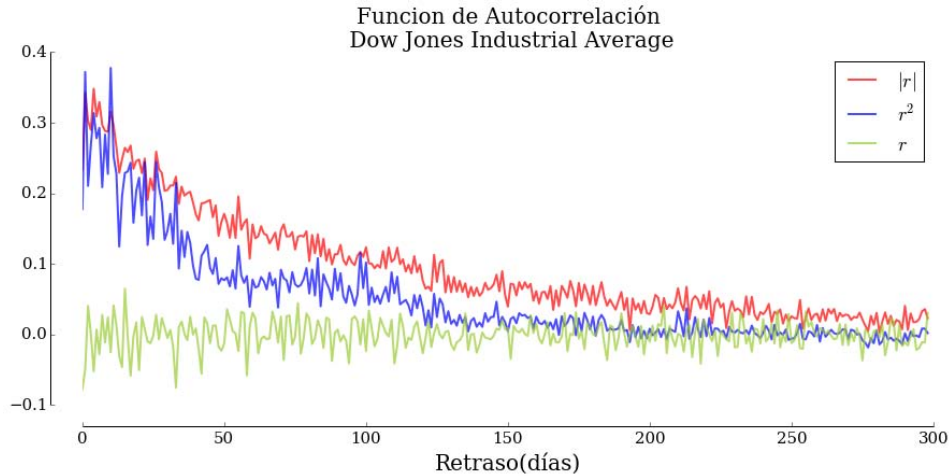


Figura 2.7: Auto-correlaciones de funciones no lineales de los rendimientos del Dow Jones Industrial Average para el periodo 2000-2014. Se puede observar como permanecen positivas por largos tiempos y decaen lentamente a cero las auto-correlaciones del valor absoluto y el cuadrado de los rendimientos. Fuente de los datos: Yahoo Finance. Figura de elaboración propia.

lineales deben ser cero, también deben ser cero las de cualquier función no lineal de los dividendos. Esta auto-correlación positiva es la firma característica del hecho estilizado llamado *aglomeración de volatilidad*, siendo la volatilidad la magnitud de las variaciones de precio y la función no lineal más común que se utiliza para medir este fenómeno es la auto-correlación del valor absoluto de los rendimientos:

$$C_2(\tau) = \text{corr}(|R(t + \tau, \Delta t)|, |R(t, \Delta t)|) \quad (2.3)$$

Diversos estudios empíricos muestran que para diferentes índices y compañías emisoras de acciones esta auto-correlación permanece positiva y decae lentamente [TL12], manteniendo la positividad por periodos de días y en algunos casos, semanas, como se muestra en la figura 2.7.

La auto-correlación positiva de los valores absolutos de los rendimientos implica que los cambios de precio tienen la tendencia a aglomerarse en el tiempo según su magnitud. Es más probable que grandes cambios de precio sean seguidos de cambios de precio de magnitud similar. Este fenómeno se ilustra en la figura 2.8 en la que se muestran los rendimientos diarios del Dow Jones en el periodo 2000-

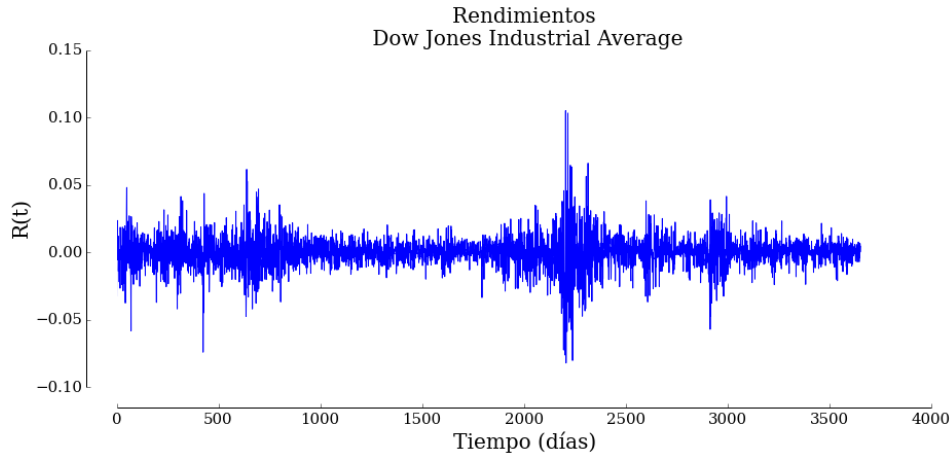


Figura 2.8: Rendimientos diarios del Dow Jones Industrial Average para el periodo 2000-2014. Se puede observar como se aglomeran los rendimientos en periodos de fluctuaciones de gran magnitud y periodos de pequeña magnitud. Fuente de los datos: Yahoo Finance. Figura de elaboración propia.

2014, se ve claramente que los cambios de precio de mayor magnitud se aglomeran en el tiempo, formando periodos de alta volatilidad, sucediendo lo mismo con los cambios de menor magnitud.

2.3.4. Decaimiento lento de la auto-correlación en los rendimientos absolutos

La función de auto-correlación de los valores absolutos de los rendimientos decae lentamente como función del retraso de forma aproximada a una ley de potencias con exponente α por lo general en el rango $[0.2, 0.4]$ [LCM⁺97]:

$$C(\tau) \sim \frac{A}{\tau^\alpha} \quad (2.4)$$

Esto puede ser interpretado como signo de dependencia de largo alcance en los rendimientos [Con07]. En la figura 2.9 se muestra como la función de auto-correlación de los rendimientos absolutos del Dow Jones decae como una ley de potencias aproximadamente.

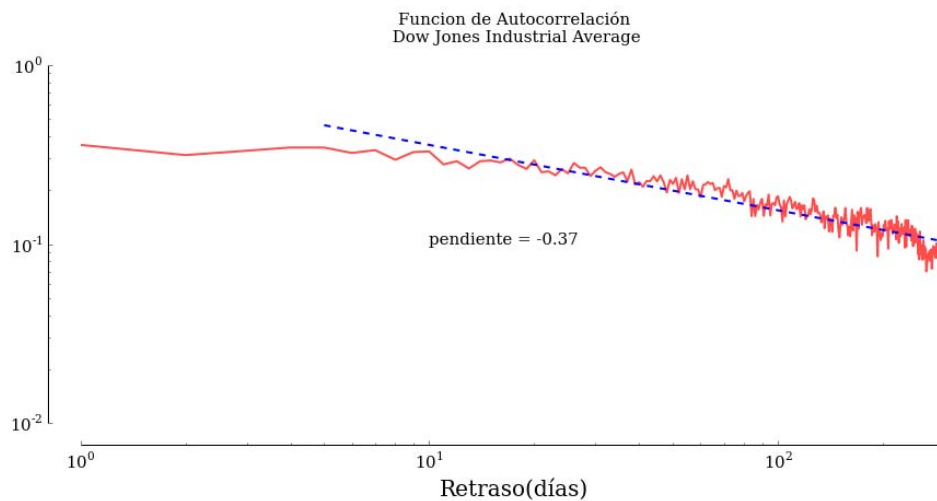


Figura 2.9: Función de auto-correlación de los retornos diarios del Dow Jones Industrial Average para el periodo 2000-2014 presentada en escala doble logarítmica. La línea azul punteada corresponde al ajuste lineal de la función de auto-correlación y se observa como el decaimiento de ésta se comporta aproximadamente como una ley de potencias. Fuente de los datos: Yahoo Finance. Figura de elaboración propia.

2.3.5. Distribución de rendimientos con cola pesada

Desde los años 1960s se ha observado en estudios empíricos que los rendimientos no presentan una distribución gaussiana [Man63] y por lo tanto no siguen una caminata aleatoria gaussiana. La distribución de acumulación complementaria, definida como

$$F(r) = 1 - \text{Prob}(R < r) \quad (2.5)$$

Presenta aproximadamente una ley de potencias $F(r) \sim r^{-\beta}$ con exponente β en el rango 2-4 [BP03]. Esto significa que es más común que sucedan fluctuaciones grandes de los precios de lo que sucederían si los cambios de precios estuvieran distribuidos normalmente (movimiento browniano). Para cuantificar qué tanto se aleja la distribución de retornos de una distribución normal se suele utilizar la kurtosis de la distribución, definida como

$$\kappa = \frac{E \left[(R(t, T) - E[R(t, T)])^4 \right]}{\sigma(T)^4} - 3 \quad (2.6)$$

donde $\sigma(T)^2$ es la varianza de los rendimientos logarítmicos $R(t, T)$. Al definir de esta forma a la kurtosis, si $\kappa = 0$ entonces la distribución de los datos presenta decaimiento en las colas igual al de la distribución normal pues la distribución normal presenta una kurtosis de 3. Un valor positivo de la kurtosis indica una cola pesada, es decir, un decaimiento asintótico de la función de distribución más lento que el de una distribución gaussiana. Las mediciones que se han realizado en estudios previos arrojan valores de κ muy alejados del régimen gaussiano: para intervalos de tiempo $T = 5$ minutos el índice Standard&Poor's tiene $\kappa \simeq 16$ [RMB97].

En las figuras 2.10 y 2.11 se muestran la densidad y la distribución acumulada complementaria de rendimientos absolutos ($1 - P(|R| < |r|)$) del índice Standard&Poor's en el periodo 2000-2014 respectivamente. La línea azul en la figura 2.10 corresponde a una distribución gaussiana con la media y varianza que poseen los rendimientos, de la misma forma la línea verde punteada en la figura 2.11 corresponde a la distribución acumulada complementaria de una distribución gaussiana con media y varianza iguales que los rendimientos. Se observa claramente que los rendimientos se distribuyen de manera más puntiaguda y que las colas decaen más lento que en una distribución gaussiana con los mismos parámetros que presentan los rendimientos.

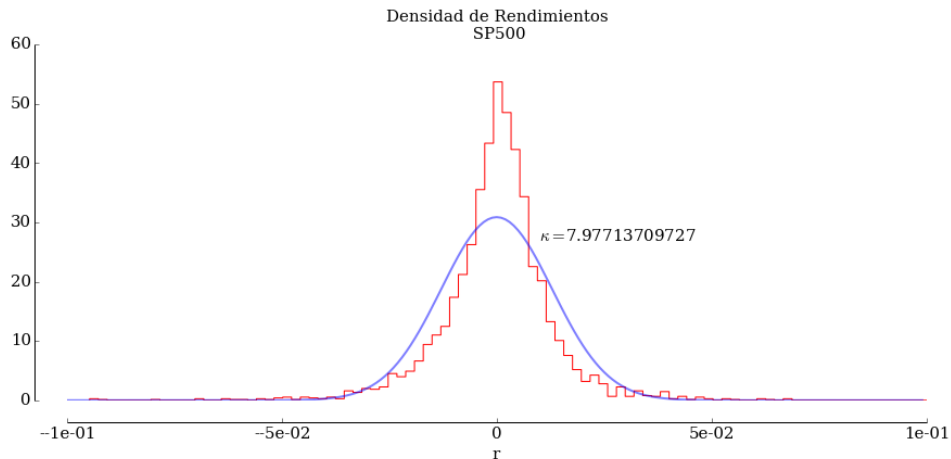


Figura 2.10: Distribución de rendimientos diarios del SP500 para el periodo 2000-2014. Los rendimientos se distribuyen de manera más “puntiaguada” que una distribución normal con la misma media y varianza que presentan los datos. Se presenta en la gráfica el valor de la kurtosis. Fuente de los datos: Yahoo Finance. Figura de elaboración propia.

2.3.6. Asimetría en la distribución de pérdidas y ganancias

En conjunción con las colas pesadas de la distribución de rendimientos se ha observado que en diversos mercados, las caídas de precio son mayores en magnitud que las subidas. Esta característica está relacionada con la asimetría estadística de la distribución de rendimientos, la cual se define como

$$\gamma = \frac{E \left[(R(t, T) - E[R(t, T)])^3 \right]}{\sigma(T)^3} \quad (2.7)$$

definida de esta forma, γ es una medida de la asimetría de la distribución de probabilidad: valores negativos de γ indican una cola izquierda de la distribución más pesada que la derecha y valores positivos indican una cola derecha más pesada que la izquierda. En los análisis empíricos de las series de rendimientos encuentra con frecuencia que las distribuciones de éstos suelen presentar γ negativas [Con01], en contraste con una distribución gaussiana que posee $\gamma = 0$.

Esta asimetría se ilustra en la figura 2.12, en ella se observa que la cola izquierda de la distribución de rendimientos (línea roja) decae más lentamente que la cola

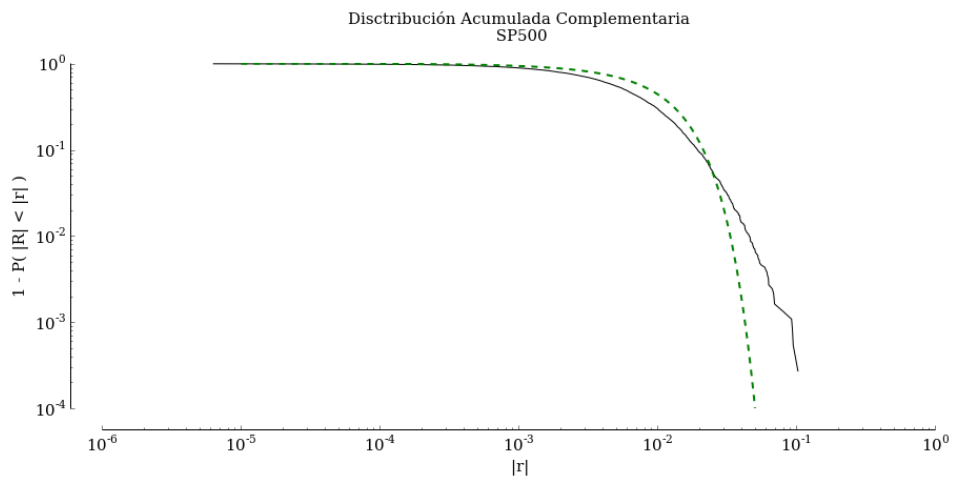


Figura 2.11: Distribución acumulada complementaria del valor absoluto de los rendimientos diarios del SP500 para el periodo 2000-2014. La línea punteada verde corresponde a la función de distribución acumulada de una gaussiana con media y varianza igual a la que presentan los rendimientos. Las colas de la distribución de rendimientos decaen más lentamente que las de una gaussiana. Fuente de los datos: Yahoo Finance. Figura de elaboración propia.

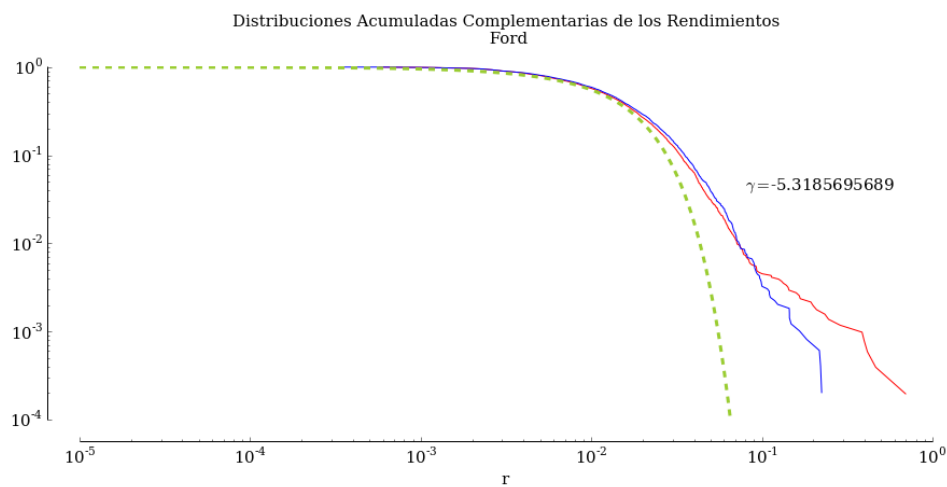


Figura 2.12: Distribución acumulada complementaria de de los rendimientos diarios de Ford para el periodo 2000-2014. De nuevo, la línea punteada verde corresponde a la distribución acumulada de una gaussiana. La línea roja corresponde a la distribución de los rendimientos negativos (pérdidas) y la azul a la de los rendimientos positivos (ganancias). Es evidente que la distribución de las pérdidas presenta colas más pesadas que la de las ganancias, lo que significa que es más probable observar grandes caídas de precio que grandes subidas. Fuente de los datos: Yahoo Finance. Figura de elaboración propia.

derecha (línea azul) correspondiente a los retornos positivos. La línea verde punteada corresponde a la función de distribución acumulada complementaria de una distribución normal con media y varianza iguales que la serie de rendimientos.

2.3.7. Efecto de apalancamiento

Esta es una propiedad que se observa en la función de correlación entre los rendimientos y el valor absoluto de los rendimientos

$$L(\tau) = \text{corr}(|R(t + \tau, \Delta t)|, R(t, \Delta t)) \quad (2.8)$$

Esta correlación comienza con valores negativos y tiende a cero conforme se incrementa τ lo cual sugiere que los rendimientos negativos provocan incrementos futuros en la volatilidad, de manera que cuando los precios bajan los cambios subsecuentes de precio son más violentos. Este efecto es asimétrico en el tiempo: $L(\tau) \neq L(-\tau)$ de manera que la volatilidad en el pasado no está correlacionada con los cambios de precio futuros. Esta propiedad es por lo general más fuerte en índices que en acciones individuales [PB01]. El primero en identificar y tratar de explicar esta propiedad de las series de rendimientos fue Black en 1976 [Bla76] y propone que una caída en el valor de una acción disminuye el valor de la empresa y genera como consecuencia un incremento en la razón deuda-valor de la empresa que emite las acciones. A esta razón deuda-valor de la empresa se le llama apalancamiento financiero y de ahí tomó su nombre el efecto de apalancamiento.

En la figura 2.13 se muestra esta propiedad para el Dow Jones Industrial Average y en la figura 2.14 para la Ford Motor Company. Es evidente que la función de correlación tiende a cero de manera más lenta para el Dow Jones.

2.3.8. Distribución Log-Normal de las volatilidades

La densidad de probabilidad de la volatilidad de acciones individuales e índices presenta distribución log-normal en la parte central y la función de distribución acumulada complementaria es bien ajustada por una ley de potencias con exponente $1 + \mu \approx 4$ [LGC⁺99].

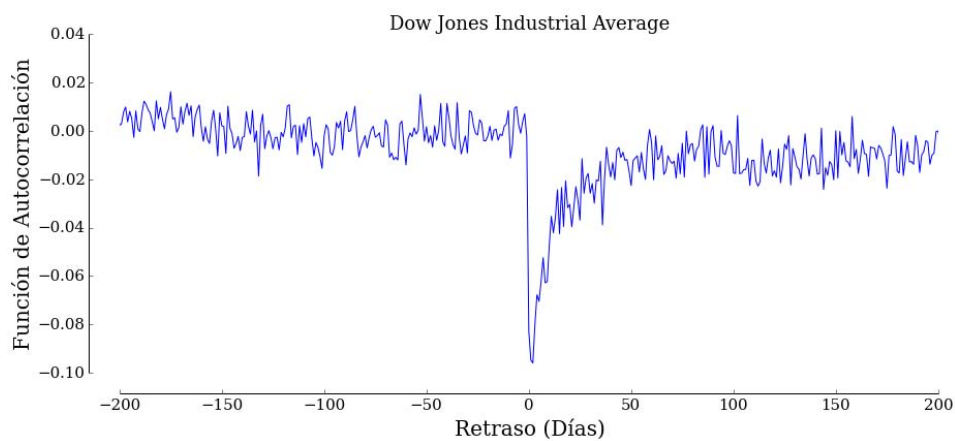


Figura 2.13: Efecto de apalancamiento en el índice Dow Jones Industrial Average para los años 1896 a 2014. La línea azul corresponde a la función de correlación entre los rendimientos y el valor absoluto de los rendimientos, el eje x está en unidades de días. Como se puede ver, para retrasos positivos, la función decae desde valores negativos hasta cero, no sucediendo lo mismo para retrasos negativos. Esto se interpreta como evidencia de que las caídas de precio provocan aumentos de volatilidad en el futuro, no ocurriendo el efecto contrario: caídas de precio como respuesta a incrementos en la volatilidad. Fuente de los datos: Yahoo Finance. Figura de elaboración propia.

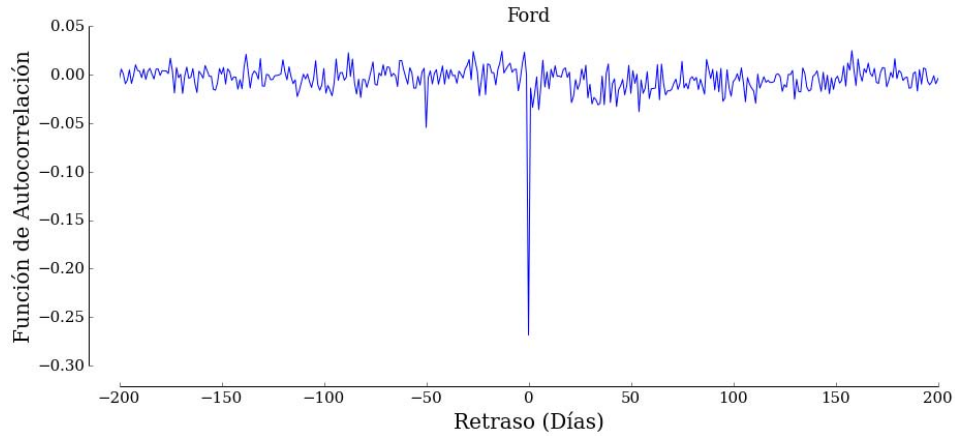


Figura 2.14: Efecto de apalancamiento en la Ford Motor Company para los años 1972 a 2014. En compañías por separado se presenta de manera débil o incluso no se presenta el fenómeno de apalancamiento. Fuente de los datos: Yahoo Finance. Figura de elaboración propia.

En la figura 2.15 se muestra la distribución de la volatilidad, calculada como

$$V_T(t) = \frac{1}{n} \sum_{t'=t}^{t+n-1} |r(t')| \quad (2.9)$$

donde $r(t)$ es el rendimiento al tiempo t y T es una ventana de tiempo: $T = n\Delta t$.

2.3.9. Gaussianidad en la agregación

La distribución de rendimientos sobre grandes intervalos de tiempo es más parecida a una distribución normal que la distribución a intervalos de horas o días [Emb04]. Esto significa que la forma puntiaguda de la distribución y las colas pesadas comienzan a desaparecer conforme uno agrega más los datos.

2.3.10. Correlación volumen/volatilidad

El volumen de compra/venta está correlacionado con todas las medidas de volatilidad tanto para índices de acciones como para compañías grandes emisoras

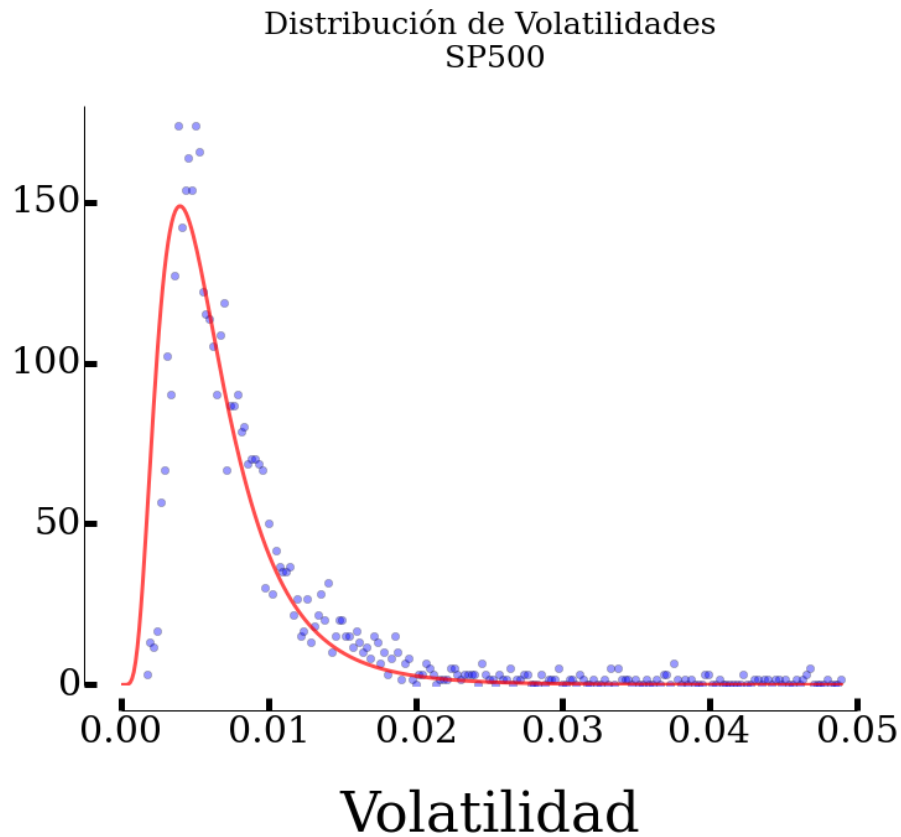


Figura 2.15: Densidad de probabilidad de la volatilidad para el índice Standard & Poor's en los años 2005 a 2015. Para la elaboración de esta gráfica se utilizó $T = 10$ días y $\Delta t = 1$ día. La línea roja continua corresponde al un ajuste log-normal. El ajuste log-normal es compatible con los datos. Fuente de los datos: Yahoo Finance. Figura de elaboración propia.

de acciones. La correlación de los rendimientos diarios tiende a declinar con el volumen[DZC07, CGW93]

2.4. Modelos Basados en Agentes

La mayoría de los modelos utilizados en la actualidad para describir a los sistemas financieros caen en una de dos categorías: modelos estadísticos que son ajustados con la historia de los datos y modelos llamados de "equilibrio dinámico estocástico general" (DGSE por sus siglas en inglés).

Los modelos del primer tipo pueden producir representaciones y pronósticos del sistema financiero razonablemente precisas, siempre y cuando no cambien mucho las propiedades de los mercados con las que fueron calibrados y los del segundo tipo asumen un sólo tipo de participante del mercado representativo de toda la población cuyo objetivo es maximizar sus utilidades (ganancias) y emplean factores estocásticos exógenos para evitar una dinámica determinista del mercado[HM09, Wic12].

A pesar del poder explicativo que tienen estos modelos, las premisas sobre las que están contruidos son aproximaciones demasiado crudas de la realidad[FF09, DG10] y como consecuencia con los resultados que se obtienen de ellos es muy difícil explicar algunas de las propiedades encontradas en los mercados que se han mencionado anteriormente, como por ejemplo la frecuencia con la que se ha observado que ocurren crisis económicas o la asimetría entre los cambios de precio positivos y negativos.

Esta situación ha dado pie a que se exploren los sistemas financieros viéndolos como sistemas compuestos de un gran número de partes distintas que interactúan entre sí para dar lugar a propiedades que emergen del agregado de las actividades de cada una de las partes individuales. Dentro del paradigma de los sistemas complejos existe una clase de modelos en los que se ve a los mercados financieros como enjambres de distintos tipos de participantes con diferentes modos de actuar a los que se les llama *modelos basados en agentes* (ABM por sus siglas en inglés). En este tipo de modelos los participantes (agentes) que componen el mercado pueden ser heterogéneos con respecto a las estrategias de comercio que utilizan, las escalas de tiempo en las que operan, la magnitud de sus volúmenes de compra y venta, etc. siendo la interacción entre los agentes (ya sea directa o indirecta) lo que genera la dinámica de los precios[Lei06].

Los ABM poseen dos características que los hacen de mucha utilidad comparados con los demás métodos para modelar sistemas económicos: facilitan la utilización de distintos tipos de agentes y permiten obtener explicaciones de las característi-

cas macroscópicos del sistema (hechos estilizados) como resultado de los comportamientos microscópicos de los agentes. La facilidad con que se pueden utilizar agentes con una alta heterogeneidad en sus estrategias en este tipo de modelos permite aproximar mejor la estructura y dinámica de un sistema financiero real, cuyos integrantes aún dentro de una misma categoría (por ejemplo los fondos de inversión o los bancos) pueden tener estrategias distintas. Por la manera en que son construidos los ABM, diseñando las partes individuales (agentes) para después ser enlazadas hasta formar un sistema completo, es posible establecer vínculos causales entre las propiedades macroscópicas que emergen y el comportamiento de los agentes permitiéndole al modelador dar explicaciones económicas de los hechos estilizados.

2.4.1. Algunos modelos basados en agentes representativos del área

Santa Fe Artificial Stock Market

Este modelo, propuesto por W. Brian Arthur, Blake Lebaron, John H. Holland, Richard G. Palmer y Paul Tyler del Santa Fe Institute [AHL+96, PAH+94], tiene el objetivo de investigar el régimen de racionalidad (racional o irracional) al que tiende el mercado cuando las estrategias de predicción de los agentes son heterogéneas. Los autores de este modelo mantienen un marco económico neoclásico, siendo la única desviación de la teoría neoclásica la heterogeneidad de las estrategias de predicción y como consecuencia, las expectativas de los agentes no son homogéneas. En este escenario heterogéneo, el modelo trata de investigar si las estrategias tienden a un estado homogéneo o si los agentes son capaces de elegir distintas técnicas de predicción que den una dinámica realista de los precios.

El mercado que propone este modelo está compuesto de dos bienes comerciables: un bono sin riesgo con una tasa de interés r y un bien riesgoso que otorga un dividendo estocástico d_t . Como el modelo es en su mayoría neoclásico, cada agente intenta maximizar su función de utilidad $U(c)$ donde c es su riqueza. La maximización de esta función de utilidad corresponde a encontrar una composición óptima de portafolio compuesto de bonos y bienes riesgosos. De la teoría clásica se tiene el resultado de que la elección óptima de ambos bienes $x_{i,t}$ de los bienes en este escenario de mercado es:

$$x_{i,t} = \frac{E_{i,t}[p_{t+1} + d_{t+1}] - p_t(1 + r)}{\lambda \sigma_{i,t,p+d}^2} \quad (2.10)$$

Donde $E_{i,t}[p_{t+1} + d_{t+1}]$ es la función de predicción utilizada por el agente i al tiempo t , p_{t+1} es el precio al tiempo $t + 1$ y $\sigma_{i,t,p+d}^2$ mide el grado de confianza de dicha predicción.

La desviación con respecto al escenario económico neoclásico se introduce considerando por separado la predicción de cada agente, de manera que los $E_{i,t}[\cdot]$ son diferentes para cada i , al contrario de la teoría económica clásica que asume que todas las predicciones son iguales. De esta forma los agentes tienen que competir en un mercado de estrategias heterogéneas y utilizando algoritmos genéticos se hace que vayan modificando las estrategias de predicción que utilizan de manera inductiva.

Este modelo puede reproducir regímenes de comportamiento racional e irracional (en el sentido económico) dependiendo de la tasa de activación del algoritmo genético de selección de estrategia. Si la frecuencia es muy alta se obtiene un régimen irracional, de otra forma los agentes convergen a una estrategia homogénea muy cercana a la solución racional y se registran muy pocas transacciones.

Juego de minorías

La primera formulación de este tipo de modelos fue realizada por Arthur B. M. [W.94] al estudiar el razonamiento de las personas en situaciones donde su racionalidad se ve limitada. Utilizando el trabajo de Arthur, Challet et al [DMY01] formularon un modelo que ataca el problema de la emergencia de hechos estilizados basándose en una idea muy sencilla. Supóngase un agente X puede elegir una de dos opciones: comprar o vender acciones. Si una vez que los demás agentes hayan tomado una decisión el agente X se encuentra en el grupo minoritario (el que cuenta con menos miembros) entonces éste obtendrá ganancias. En este modelo cada agente puede decidir comprar o vender acciones a cada paso de tiempo t , entonces la función que describe la acción del agente i , $a_i(t)$ puede tomar los valores $+1$ 0 -1 . Al final de cada paso de tiempo el exceso de demanda se calcula sumando las demandas de cada agente

$$A(t) = \sum_{i=1}^N a_i(t) \quad (2.11)$$

Si un agente está en el grupo de la minoría, obtendrá ganancias de acuerdo a la función de ganancias

$$U_i(t) = -a_i(t)F[A(t)] \quad (2.12)$$

Donde F es una función impar de $A(t)$.

Los agentes aprenden de sus decisiones pasadas, representadas como cadenas de 1 y -1 y eligen las que les han funcionado mejor para realizar predicciones que les indiquen que posición tomar con el fin de estar en el grupo de la minoría. Este modelo es capaz de reproducir los hechos estilizados de agregación de la volatilidad y colas pesadas con leyes de potencias similares a las observadas en la vida real si se eligen en cierto rango los parámetros.

Modelo de Lux y Marchesi

El modelo de Lux y Marchesi[[TM99](#), [TM00](#)] tiene como objetivo mostrar que las leyes de escalamiento que se observan en los mercados financieros pueden surgir de la interacción entre los agentes. En este modelo, los agentes se dividen en dos categorías: fundamentalistas, que creen en la existencia de un precio justo para las acciones y venden acciones cuando el precio de éstas es mayor al precio fundamental o compran si sucede lo contrario, y técnicos, que son agentes gobernados por el comportamiento de manada y la historia de los precios. El número total de agentes N se mantiene fijo durante toda la simulación pero se permite que el número de fundamentalistas n_f y técnicos n_t varíen en el tiempo.

Cada clase tiene un efecto distinto en la dinámica de los precios, los fundamentalistas tienden a estabilizarlos al guiar a los precios al precio fundamental y los técnicos tienden a desestabilizarlos creando temporadas de alta volatilidad o crecimiento espurio(burbujas). Dentro de la categoría de los técnicos, se forman dos sub-categorías: optimistas, quienes piensan que el precio subirá y por lo tanto siempre compran acciones, y pesimistas, quienes creen que los precios decrecerán y por lo tanto siempre venden acciones.

En cada paso de tiempo se le permite a cada agente cambiar de categoría de acuerdo a una probabilidad de transición.

La presencia de un factor de comportamiento gregario en la probabilidad de transición de categoría introduce un estado de dinámica intermitente en las poblaciones de los agentes que está conectada causalmente con la emergencia de hechos estilizados.

Los términos de comportamiento gregario en las probabilidades de transición entre fundamentalistas y técnicos dan lugar a la alternación entre dos estados en los cuales domina un tipo de población. El estado más probable es con una mayoría de fundamentalistas, sin embargo, una fluctuación estocástica puede disparar un periodo de alta población de técnicos, los cuales a su vez generan un periodo de alta volatilidad, hasta que la población se revierte a ser mayoritariamente de funda-

mentalistas. Esta intermitencia de estados genera colas pesadas en la distribución de rendimientos y agregación de la volatilidad con leyes de escalamiento similares a las observadas en la vida real.

Capítulo 3

Descripción del modelo

3.1. Introducción

En el modelo que proponemos, representamos un mercado en el que un solo bien, cuyo precio es denotado por P_t , es comercializado en un mecanismo de doble subasta por N agentes que utilizan una de dos estrategias distintas: agentes que utilizan análisis fundamental y agentes que utilizan análisis técnico. Los agentes que utilizan análisis fundamental esperan que a largo plazo el precio P_t se acerque al llamado precio fundamental del bien p_f , el cual es diferente para cada agente, y mientras esto sucede aprovechan las desviaciones que P_t tiene con respecto a p_f para obtener ganancias mientras que los agentes técnicos buscan identificar tendencias en la serie de tiempo de los precios con el fin de beneficiarse de dichas tendencias.

Estos dos tipos de agentes se diseñaron con la idea de que los efectos de su actividad sean opuestos: mientras que los fundamentalistas estabilizarán los precios alrededor de sus precios fundamentales, los técnicos tenderán a crear variaciones violentas de los precios con sus transacciones. Los parámetros que determinan la actividad de cada agente son elegidos de manera aleatoria y aún si dos agentes pertenecen al mismo tipo (fundamentales o técnicos) la diferencia en los valores de sus parámetros generará "personalidades" distintas, haciendo, por ejemplo, que algunos agentes presenten más aversión al riesgo que otros. En las siguientes secciones se describirán en detalle la estructura y dinámica del modelo, para ver una descripción más formal y concisa referirse a los apéndices situados en los capítulos [6](#), [7](#) y [8](#).

3.2. Aspectos generales del modelo

En el modelo de mercado que proponemos N agentes divididos en dos grupos: usuarios de análisis fundamental y usuarios de análisis técnico, comercian con un sólo bien a través de un sistema de doble subasta donde todas las transacciones son ejecutadas por medio de un libro de órdenes. El tiempo se hace correr en pasos discretos y en cada paso cada agente fundamental estará activo con probabilidad p_{active} , los agentes técnicos por otro lado sólo están activos cuando observen tendencias favorables o cuando puedan lograr una transacción que le otorgue beneficios inmediatos, como será explicado en detalle posteriormente. Se le otorga a cada agente crédito ilimitado y se permiten las ventas en corto, las cuales consisten en la venta de acciones que no poseen. Permitimos estas libertades para asegurar que los agentes introduzcan órdenes al mercado cuando estén activos, es decir, para que el mercado sea líquido. Las órdenes que emiten los agentes siempre tienen volumen de una unidad para facilitar el proceso de ejecución en el libro de órdenes.

3.3. Tipos de agentes

3.3.1. Técnicos

Para identificar tendencias en los precios, los agentes técnicos hacen uso de un indicador llamado oscilador de medias móviles[BLL92]. Este indicador utiliza dos medias móviles con tamaños de ventana distintos y genera señales de compra/venta cuando hay un cruzamiento de las dos medias. A la media móvil con la ventana de menor tamaño se le denomina media rápida y su función es capturar la tendencia que tienen los precios a subir o bajar en el corto plazo, a la media móvil con la ventana de mayor tamaño se le denomina media lenta y captura la tendencia de los precios a largo plazo.

Si la media móvil rápida cruza desde arriba hacia abajo a la media móvil lenta se interpreta que es conveniente realizar una compra pues los precios muestran una tendencia a bajar en el corto plazo comparados con la tendencia de largo plazo. De esta forma si se realiza una compra en un tiempo cercano al tiempo en que se registre el cruzamiento de las medias, será posible obtener el bien por un precio más bajo del que había estado registrando hasta el momento de ser generada la señal de compra.

Por el otro lado, si la media móvil rápida cruza desde abajo hacia arriba a la media móvil lenta se interpreta que es conveniente realizar una venta pues los precios

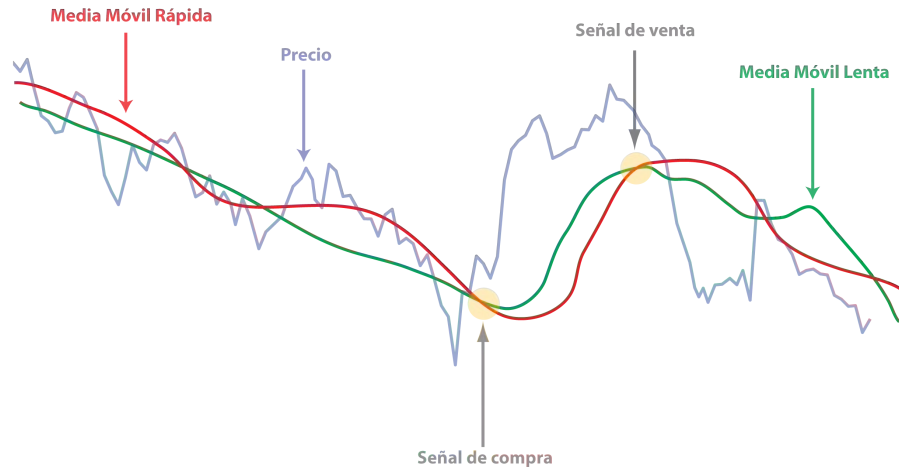


Figura 3.1: Oscilador de medias móviles, la línea color verde corresponde a la media lenta y la roja a la rápida. Cuando la media rápida cruza *desde arriba hacia abajo* a la media lenta, se interpreta que es buen momento para *comprar*. De la misma manera, cuando la media rápida cruza *desde abajo hacia arriba* a la media lenta, se interpreta que es buen momento para *vender*.

muestran una tendencia a subir en el corto plazo. Entonces, si se realiza una venta en un tiempo cercano al del cruzamiento de las medias, será posible vender a un mayor precio del que había estado registrando hasta el momento de ser generada la señal de venta. En la figura 3.1 se ilustra el funcionamiento de este indicador técnico. La idea detrás de este indicador es que al detectar una tendencia a la baja y aprovecharla será posible comprar un bien a un precio bajo y después cuando se detecte una tendencia a la alza se podrá vender dicho bien a mayor precio del que fue comprado, haciendo que se logre como ganancia la diferencia entre los precios de venta y compra. Decidimos que los agentes técnicos utilizaran este indicador en particular porque es ampliamente utilizado en la vida real [WB92] y es muy sencillo de implementar.

Dentro del modelo, cada agente técnico utiliza un oscilador de medias móviles con longitudes de ventana fijas. Cuando el indicador de un agente técnico genera una señal de compra o venta, dicho agente elige un tiempo de espera t_{wait} antes de actuar como lo indica la señal: si la señal generada fue de compra ingresará una orden de compra a precio de mercado al final de su tiempo de espera y si fue de venta ingresa una orden de venta a precio de mercado. Se hace que los agentes esperen antes de emitir sus órdenes porque el cruzamiento de señales sirve como estimación de los movimientos futuros de los precios, si actuaran en el mismo instante

que fue registrada una señal no aprovecharían la subida o bajada de precios que la medias móviles sugieren que sucederá. El tiempo de espera de cada agente técnico es extraído de una distribución uniforme discreta en el intervalo $[0, t_{\max}]$. Como el oscilador de medias móviles genera una señal cuando la media rápida cruza a la lenta y estos cruzamientos ocurren siempre de manera alternante, después de un cruzamiento desde arriba hacia abajo se sigue siempre un cruzamiento desde abajo hacia arriba.

Esto significa que los agentes técnicos estarían alternando el tipo de órdenes que introducen al mercado (compra y venta) si sólo ingresaran órdenes tras recibir señales de su indicador. Sin embargo, existe un segundo mecanismo que incita a los agentes técnicos a introducir órdenes al mercado al que llamamos *mecanismo de utilidad inmediata*. Si la orden que un agente técnico ingresa tras recibir una señal es ejecutada, dicho agente registra el precio al que ocurrió la transacción, al cual llamaremos P_{signal} , y comienza a observar el desarrollo de la serie de precios: si el precio del bien presenta un cambio porcentual superior a un cierto valor γ , el agente procederá a introducir una nueva orden en el mercado cuyo tipo (compra o venta) dependerá del tipo de la última orden que haya emitido tras recibir una señal. Si después de recibir una señal de compra un agente técnico e introducir la orden de compra correspondiente el precio de la acción P_t alcanza o supera un valor de $(1 + \gamma)P_{\text{signal}}$, entonces este agente procederá a ingresar una orden de venta a mercado, asegurando de esta manera una ganancia antes de que llegue una señal de venta en el futuro. De la misma manera, si tras recibir una señal de venta e introducir la correspondiente orden el precio alcanza el valor $(1 - \gamma)P_{\text{signal}}$ o menor, el agente procederá a comprar una unidad del bien pero esta vez con una orden a precio límite, eligiendo el precio de la orden igual al actual P_t . Como consecuencia, si es exitosa su compra a precio límite, obtendrá una unidad del bien a menor precio del que que haya obtenido por la última venta que haya realizado. El mecanismo de utilidades inmediatas tiene como objetivo capturar el comportamiento llamado *aversión al riesgo* que consiste en preferir una oferta con un cierto grado de riesgo menor o una ganancia asegurada por encima de otra oferta en la que se puedan obtener mayores ganancias incurriendo en un riesgo mayor. Este segundo mecanismo de inserción de órdenes se ilustra en la figura 3.2.

Al seguir las tendencias que identifican en la historia de los precios, los agentes técnicos imitan en cierta forma el comportamiento de los demás participantes del mercado haciendo que muestren de manera intrínseca e indirecta (pues no observan directamente el comportamiento de los demás agentes) comportamiento gregario.

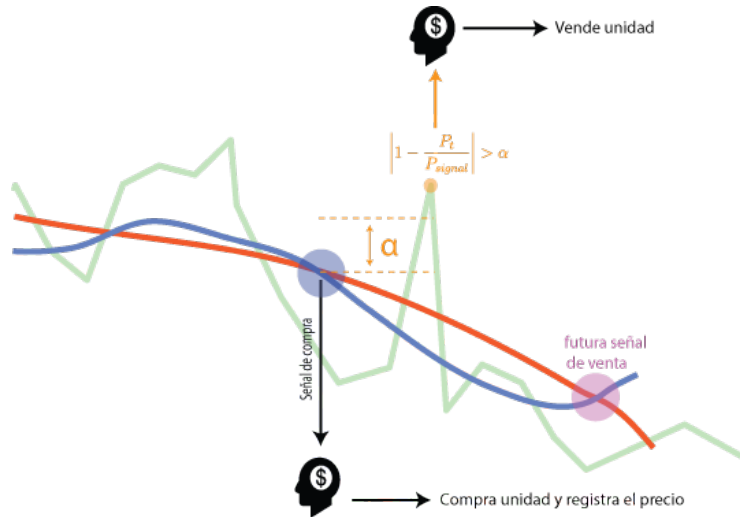


Figura 3.2: Mecanismo de utilidades inmediatas. Si después de recibir una señal de compra los precios suben lo suficiente ($|1 - \frac{P_t}{P_{signal}}| > \alpha$), el agente procederá a ingresar una orden de venta a mercado. De la misma manera, si los precios bajan suficiente después de recibir una señal de venta, el agente procederá a introducir una orden de compra a precio límite.

3.3.2. Fundamentalistas

Como se mencionó anteriormente una estrategia de tipo fundamental se basa en dos premisas básicas: primero, la creencia de que para cualquier bien existe un precio intrínseco p_f que representa el verdadero valor del bien y que es incorrectamente estimado por los demás participantes del mercado a corto plazo, y segundo, la creencia de que a largo plazo el mercado comprenderá cual es el valor fundamental del bien, haciendo que éste sea eventualmente comercializado a precio p_f . La estrategia de un individuo que utiliza análisis fundamental consiste entonces en comprar un bien cuando el precio de éste se encuentra por debajo de la estimación de su valor intrínseco y venderlo cuando alcance su precio fundamental posteriormente, obteniendo como ganancia la diferencia entre el precio al que lo vende y el precio fundamental.

En el modelo que proponemos, los agentes fundamentales tienen un precio fundamental p_f y su estrategia consiste básicamente en comprar el bien cuando el precio P_t cae por debajo de p_f y vender cuando P_t sea igual o mayor que p_f . De esta forma lograrán obtener el bien cuando está siendo vendido a menor precio del que estiman que vale realmente y cuando el mercado reaccione y se comience a comerciar

con el bien al precio fundamental podrán vender y obtener como ganancia la diferencia entre el precio al que compraron y el precio fundamental p_f . Sin embargo, aún cuando un agente fundamental se encuentre activo durante un paso de tiempo, si su precio fundamental está localizado dentro del margen del libro de órdenes, de forma que $B_{sell} > p_f > B_{buy}$ se abstendrá de participar ya que ninguna oferta le resulta conveniente, aquí B_{sell} corresponde al mejor precio de venta y B_{buy} al mejor precio de compra.

A cada agente se le asigna un precio fundamental extraído de una distribución discreta uniforme al inicio de cada simulación. Elegimos extraer los precios fundamentales de una distribución uniforme porque es de las más sencillas de implementar y nos permite acotar los precios.

La selección del tipo de orden que ingresa un agente, ya sea a precio límite o a mercado, depende de la distancia que hay entre el precio fundamental del agente y el de la mejor oferta de venta B_{sell} o de compra B_{buy} . Si $p_f > B_{sell}$ el agente procederá a comprar ya que la mejor oferta de venta tiene un menor precio del que el agente considera correcto (p_f). De la misma manera si $p_f < B_{buy}$ el agente procederá a vender pues la mejor oferta de compra ofrece más dinero por el bien del que el agente estima correcto.

Una vez que un agente decide si va a realizar una compra o venta, la decisión de ingresar su orden a precio límite o a mercado dependerá de la distancia a la que se encuentra su p_f de la mejor oferta de tipo contrario al de la orden que va a ingresar, es decir, si va a comprar, la compra será a mercado cuando su precio fundamental supere un umbral χ_{market} por encima del precio de la mejor oferta de venta, es decir si $p_f > B_{sell}(1 + \chi_{market})$ y será a un precio límite si no lo supera. La selección de dicho precio límite se discutirá más adelante.

Similarmente, cuando el agente va a vender, lo hará emitiendo una orden a mercado si su p_f se encuentra debajo del umbral con respecto al precio de la mejor oferta de compra: $p_f < B_{sell}(1 - \chi_{market})$, de otra manera, emitirá una orden a precio límite. Al igual que con los demás parámetros, a cada agente fundamental se le asigna su propio valor de χ_{market} extraído de una distribución uniforme continua. En la figura 3.3 se ilustra este algoritmo de decisión.

En las ocasiones que los agentes fundamentales deciden introducir una orden a precio límite al mercado, el precio de dicha orden se extrae de una distribución exponencial desplazada que tiene la forma

$$f(x; \lambda_{limit}, \mu_{spread}) = \lambda_{limit} e^{-\lambda_{limit}(x - \mu_{spread})} \quad \text{para } x > \mu_{spread} \quad (3.1)$$

Donde μ_{spread} es el precio medio del spread, es decir $\mu_{spread} = \frac{1}{2}(B_{sell} + B_{buy})$. Al asignar el precio de una orden límite de esta forma será más probable que esté cer-

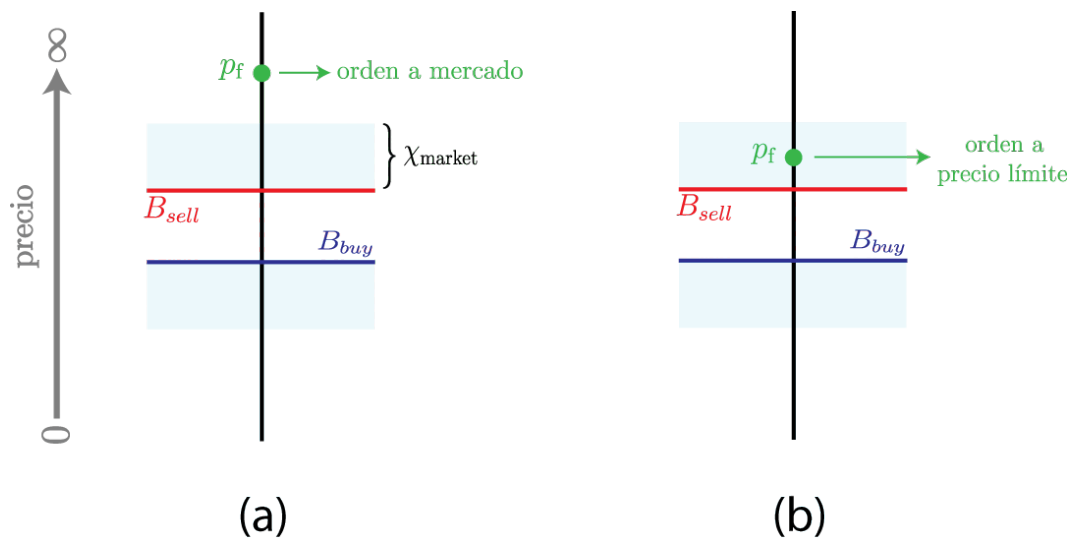


Figura 3.3: Se muestra aquí el proceso de decisión que sigue un agente fundamental para elegir el tipo de orden que emitirá. Como se ilustra en (a), si el precio fundamental p_f supera por más de un cierto umbral χ_{market} a las mejores órdenes del libro, el agente procederá a insertar una orden a mercado. Por el otro lado, como se muestra en (b), si el precio fundamental no supera el umbral χ_{market} entonces el agente inserta una orden límite.

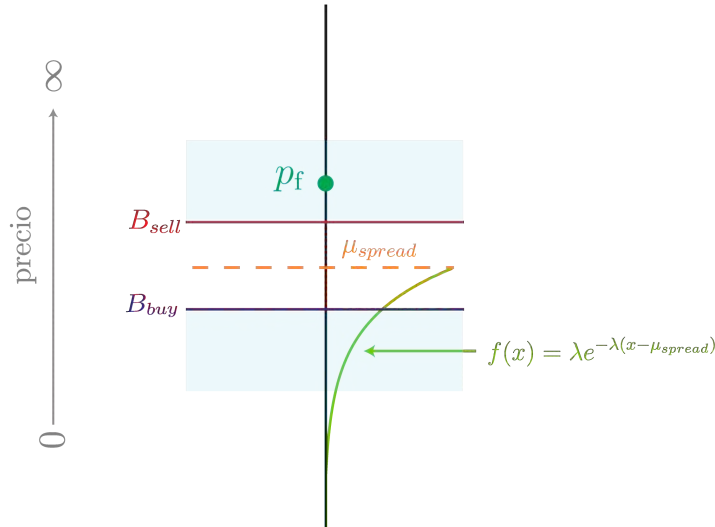


Figura 3.4: Se ilustra aquí el proceso de elección de precio para las órdenes límite. Una vez que un agente decide qué tipo de orden límite ingresar al libro, extrae el precio de ésta de una distribución exponencial desplazada, centrada en el precio medio μ_{spread} . Si la orden es de compra, la exponencial decae hacia cero, si es de venta, decae hacia infinito.

cano a μ_{spread} que es en cierto modo una medida del precio al que el mercado está valuando el bien. Todo esto se traduce en que cuando los precios de las mejores ofertas no le parecen adecuados a un agente fundamental, regateará con una orden a precio límite aproximadamente al precio que el mercado cotiza el bien al tiempo que realiza su transacción.

Como se mencionó anteriormente la mayoría de la información concerniente a la salud económica de una empresa que alimenta al análisis fundamental proviene de sus reportes de estados financieros. En el contexto del modelo que proponemos, representamos el flujo de noticias de este tipo por medio de una sucesión de variables aleatorias gaussianas IID $(\zeta_t)_{t=t_0, t_0+n, t_0+2n, \dots}$ con $n \in \mathbb{N}$ y $\zeta_t \sim N(\mu_{news}, \sigma_{news})$. ζ_t representa la salud financiera que se reporta, siendo la magnitud y signo de ζ_t asociadas directamente con el estado financiero: una señal negativa corresponde a la notificación de pérdidas y una positiva a la de ganancias.

Cuando se emite un reporte, todos los agentes fundamentales reajustan sus precios fundamentales de p_f a $p_f + \Delta p_f$ donde Δp_f es extraído de una distribución normal $N(\zeta_t, \sigma_{\Delta p_f})$ como se ilustra en la figura 3.5. De esta manera, la mayoría de los fundamentalistas cambiará sus precios fundamentales de manera coherente (mismo

signo) con la noticia y dependiendo de su magnitud, algunos agentes pueden obtener un Δp_f de signo contrario a ζ_t . Este comportamiento emula a los analistas fundamentales que por fuentes de información ajenas al reporte consideran que el signo de la noticia no corresponde con la salud financiera de la compañía. La diferencia entre dos noticias consecutivas sigue una distribución de Poisson con media f_{news} .

Finalmente para dotar a los agentes fundamentales de comportamiento gregario como el que presentan los agentes técnicos, hicimos que cada agente fundamental acerque su precio fundamental p_f a μ_{spread} cuando la diferencia entre estos dos es demasiado grande. Este acercamiento tiene la intención de capturar la atención que un agente fundamental le presta a las opiniones de los demás participantes del mercado; si su apreciación del valor intrínseco de un bien está demasiado lejos del valor al que el mercado cotiza, el agente se acercará a este último como medida precautoria ya que una distancia tan grande entre el consenso y su apreciación del valor del bien se pudo deber a un error en su análisis.

Para determinar cuándo es demasiado grande la diferencia entre p_f y μ_{spread} , cada agente compara esta diferencia con un umbral $\chi_{opinion}$, si un agente observa que

$$\chi_{opinion} > \left| 1 - \frac{p_f}{\mu_{spread}} \right| \quad (3.2)$$

Entonces ajustará su precio para acercarse a μ_{spread} tan lejos como se lo indica el umbral $\chi_{opinion}$, es decir, el precio fundamental nuevo será

$$p_f = \begin{cases} \mu_{spread}(1 + \chi_{opinion}), & \text{si } p_f \geq \mu_{spread} \\ \mu_{spread}(1 - \chi_{opinion}), & \text{si } p_f < \mu_{spread} \end{cases}$$

De esta manera el agente se acerca justo al límite que corresponde a su tolerancia máxima de discrepancia entre su opinión y la opinión de los demás, representada por μ_{spread} .

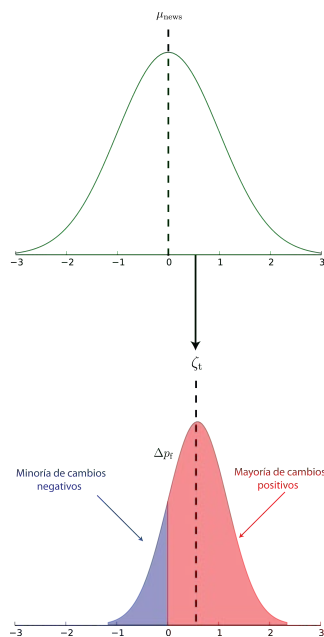


Figura 3.5: Las noticias se modelan como una secuencia de variables aleatorias normales. Cuando arriba una nueva noticia, los precios de cada agente fundamental cambia su precio fundamental de p_f a $p_f + \Delta p_f$, siendo Δp_f extraído de una distribución normal cuya media es el valor de la nueva noticia. De esta forma, si arriba una noticia muy positiva la mayoría de los cambios serán positivos, sucediendo lo mismo con noticias negativas.

Capítulo 4

Resultados

4.1. Comparación entre poblaciones de fundamentales y poblaciones mixtas.

Se presentan en seguida los resultados de dos simulaciones (población 1 y 2) representativas de un conjunto de simulaciones con las mismas condiciones de mercado. Los resultados son esencialmente los mismos para cada simulación con estas condiciones.

La población 1, constituida de agentes fundamentales unicamente y la población 2 con agentes técnicos y fundamentales. La población 1 está compuesta por 500 agentes fundamentales y la población 2 por 500 agentes fundamentales y 350 agentes técnicos a los cuales les fue asignado un indicador con medias móviles de 1000 y 2000 pasos de tiempo. En ambos casos las simulaciones corrieron un intervalo de 10^6 pasos de tiempo con noticias extraídas de una distribución normal con media $\mu = 0$ y desviación estándar $\sigma = 0.15$. Los tiempos que transcurrieron entre noticia y noticia se extrajeron de una distribución Poisson con media $f_{news} = 100$. La probabilidad de estar activo en un dado paso de tiempo para los agentes fundamentales se eligió como $p_{active} = 0.05$ de manera que en promedio 25 agentes fundamentales estuvieran activos cada paso.

Si intentáramos ser consistentes con las escalas de tiempo en los mercados financieros reales, de forma que podamos identificar un paso de tiempo en la simulación con una escala temporal real, necesitaríamos trabajar en uno de dos escenarios distintos. El primero consistiría en crear una población muy grande de agentes para

que el número de agentes activos en un paso de tiempo de la simulación coincida con el promedio de transacciones que se realizan en un tiempo suficientemente grande en tiempo real (días o semanas). El otro escenario sería mantener el mismo número de agentes que utilizamos en este trabajo de manera que un paso de tiempo se interprete como minutos de tiempo real pero corriendo las simulaciones por tiempos mucho mayores, logrando así que transcurra el tiempo correspondiente a días o semanas reales en cada simulación. Ambos escenarios son poco prácticos porque requerirían demasiado poder de cómputo y por esto elegimos escalas de tiempo que logran un compromiso entre lo que podemos simular y lo que esperamos simular. Aún con la dificultad de asignar escalas temporales reales, al experimentar con los parámetros que regulan el comportamiento de los agentes y la composición de la población, se observan relaciones entre la conducta de los agentes y la manifestación de los hechos estilizados.

Una cantidad de suma importancia para la estabilidad de una simulación es el número de órdenes dentro del libro en un tiempo dado $N(t)$. Si $N(t)$ se vuelve muy pequeño, una fluctuación grande en la actividad de los agentes puede vaciar las ofertas de venta/compra y provocar que la simulación termine de manera abrupta por falta de liquidez. Por esta razón, los valores de los parámetros que controlan la liquidez del mercado deben permitir que exista un flujo de órdenes límite suficiente que sustituya las órdenes que son eliminadas por los agentes que consumen liquidez, es decir, por los agentes que emiten órdenes a precio de mercado. Para los resultados que se presentan los valores de estos parámetros controladores de la liquidez son $\chi_{market} \in [0.01, 0.15]$ y $\chi_{opinion} \in [0.05, 0.15]$.

En las figuras 4.1 y 4.2 se muestran las series de precios $S(t)$ resultantes de las dos simulaciones.

Se muestran los rendimientos logarítmicos $r(t) = \log \frac{S(t+1)}{S(t)}$ de las dos simulaciones en las figuras 4.3 y 4.4. Es visible la aglomeración de los rendimientos que produce la simulación con agentes técnicos y la ausencia de ésta en la simulación que sólo incluye agentes fundamentales.

En la figura 4.5 se muestran en rojo los tiempos en que se presentó actividad de agentes técnicos junto con la serie de rendimientos. Los cúmulos de mayor volatilidad coinciden con los tiempos en que estuvieron activos los agentes técnicos, mostrando que los técnicos causan periodos de alta volatilidad en los precios cuando participan en el mercado y que el cese de su actividad trae periodos de menor volatilidad.

A pesar de tener efectos tan distintos sobre la volatilidad, la actividad de un agente

4.1. Comparación entre poblaciones de fundamentales y poblaciones mixtas. 51

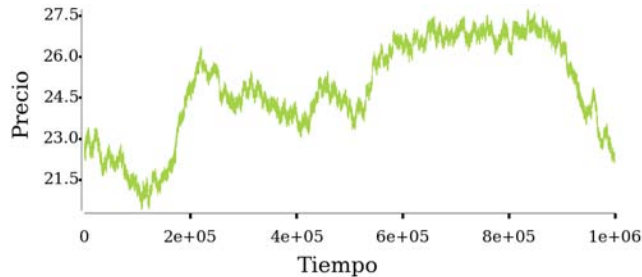


Figura 4.1: Precios generados por la población 1.

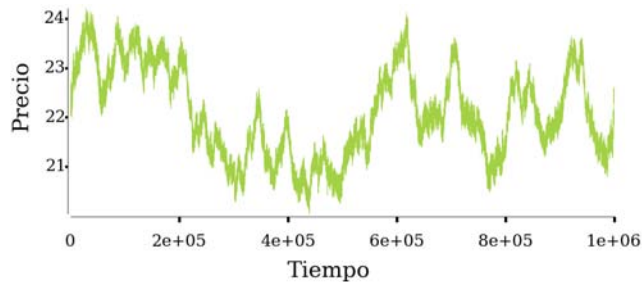


Figura 4.2: Precios generados por la población 2.

técnico no es muy distinta de la de un agente fundamental en un nivel individual: ambos pueden emitir órdenes de compra y venta después de todo. Sin embargo, como se acaba de mostrar, los agentes técnicos afectan de distinta manera el desarrollo de los precios. La razón de que los efectos que ambos agentes tienen sobre los precios sean tan diferentes es la *sincronía* con la que actúan los agentes técnicos. Cuando una sub-población de agentes técnicos que utilice indicador determinado pasa a estar activa al recibir una señal de éste, arriban al mercado todas las órdenes emitidas por esta sub-población en un periodo de tiempo relativamente corto, generando fluctuaciones en los precios de mayor magnitud que las producidas por los agentes fundamentales.

Las distribuciones de los rendimientos normalizados se muestran en las figuras 4.6 y 4.7. Se ve que la población construida enteramente de agentes fundamentales no genera una distribución de rendimientos con colas pesadas mientras que la simulación con población mixta sí las produce.

Las funciones de auto-correlación de los rendimientos se muestran en las figuras 4.8 y 4.9. Las figuras principales muestran las funciones de auto-correlación de los rendimientos calculados cada paso de tiempo y las figuras insertadas muestran las auto-correlaciones de los rendimientos calculados cada 200 pasos de tiempo. En las

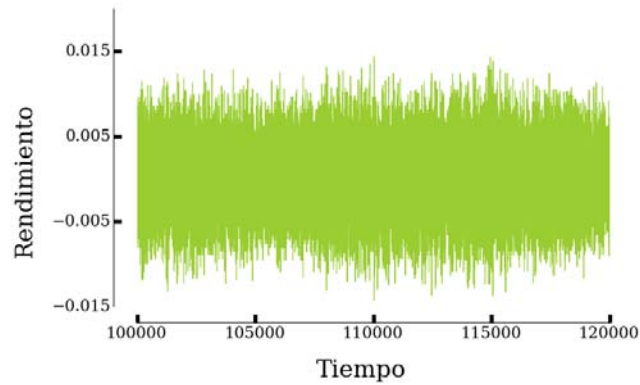


Figura 4.3: Rendimientos generados por la población 1. No se aprecia aglomeración de volatilidad en este caso.

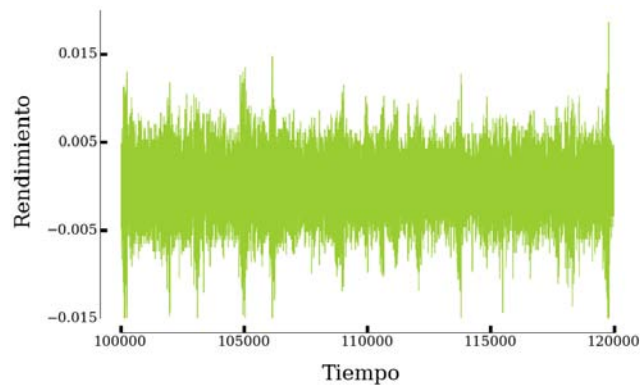


Figura 4.4: Rendimientos generados por la población 2. Esta población sí genera rendimientos que presentan aglomeración de volatilidad.

4.1. Comparación entre poblaciones de fundamentales y poblaciones mixtas. 53

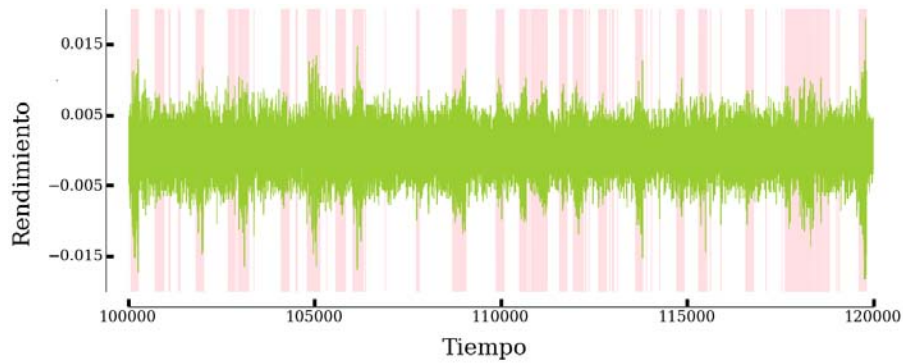


Figura 4.5: Tiempos en que estuvieron activos los agentes técnicos. Los periodos de mayor volatilidad coinciden con los periodos en que hubo actividad de los agentes técnicos en el mercado.

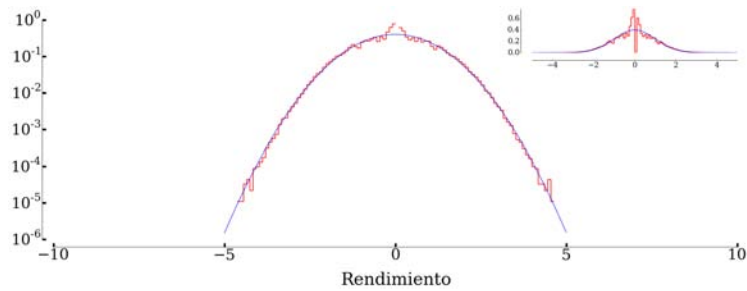


Figura 4.6: Distribución de rendimientos estandarizados generados por la población 1, la línea azul corresponde a una distribución normal estandar.

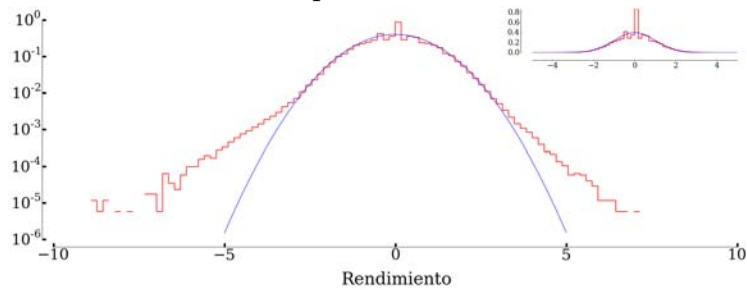


Figura 4.7: Distribución de rendimientos estandarizados generados por la población 2. En este caso, las colas de la distribución de rendimientos son mucho más pesadas que las de una distribución normal.

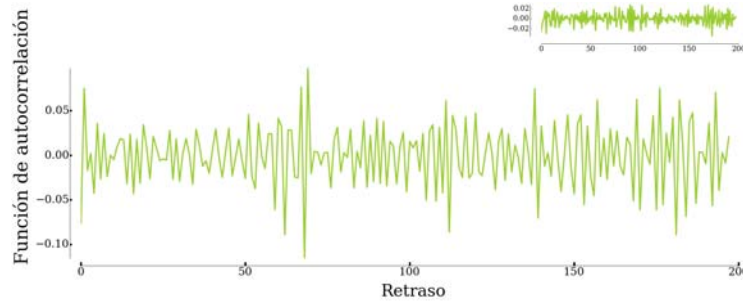


Figura 4.8: Función de auto-correlación de los rendimientos de la población 1. Como se puede ver, el signo de los precios es impredecible pues la auto-correlación de los rendimientos es cero. Comparar con las figuras 2.4 y 2.5.

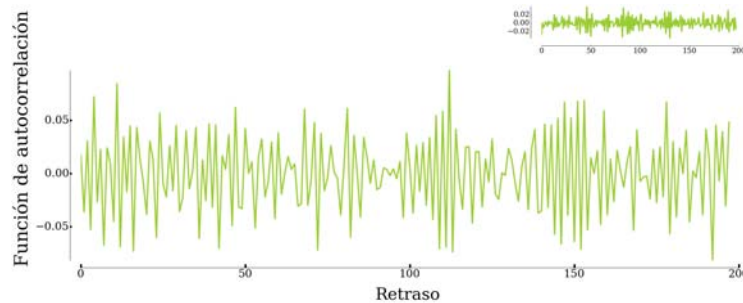


Figura 4.9: Función de auto-correlación de los rendimientos de la población 2. También en este caso los rendimientos permanecen cero auto-correlacionados.

dos simulaciones la auto-correlación es esencialmente nula para las dos escalas de tiempo.

En las figuras 4.10 y 4.11 se muestran las funciones de auto-correlación del valor absoluto de los rendimientos. Para la población conformada sólo de fundamentalistas la función se mantiene en valores positivos por tiempos prolongados pero con una magnitud cercana a la de la función de auto-correlación de los rendimientos sencillos, de manera que el fenómeno se manifiesta pero lo hace de manera muy débil. Se muestran las funciones de auto-correlación para retrasos que comienzan en $\tau = 2$ porque al comenzar desde $\tau = 0$ no se observa tan clara la persistencia de la correlación a lo largo del tiempo. Esto sucede porque aunque la auto-correlación se mantiene con valores positivos, su magnitud es considerablemente menor que 1, que es el valor que toma en $\tau = 0$.

4.1. Comparación entre poblaciones de fundamentales y poblaciones mixtas. 55

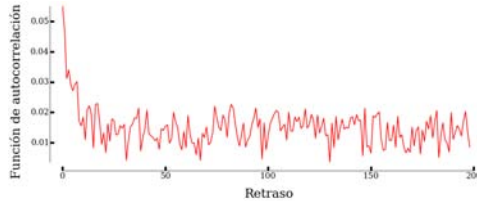


Figura 4.10: Función de autocorrelación de los rendimientos absolutos de la población 1. Aunque la auto-correlación permanece positiva por largo tiempo su magnitud es muy cercana al cero.

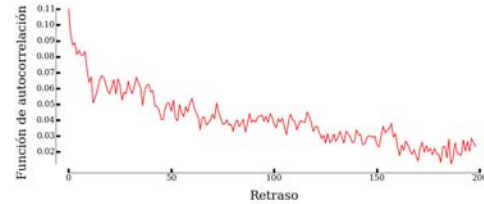


Figura 4.11: Función de autocorrelación de los rendimientos absolutos de la población 2. En este caso la auto-correlación permanece significativamente positiva antes de decaer a cero. Comparar con la figura 2.7 en la que se presentan las auto-correlaciones para el Dow Jones.

Por el otro lado, en la simulación con la población mixta se presenta decaimiento lento de la función de auto-correlación del valor absoluto de los rendimientos, que puede ser descrito aproximadamente como una ley de potencias como se muestra en la figura 4.12. Este decaimiento lento es característico del fenómeno de aglomeración de la volatilidad, lo que confirma el análisis visual de la figura 4.4, el exponente obtenido por regresión lineal se encuentra dentro del rango reportado en la literatura para datos reales[Cri13].

En las figuras 4.13 y 4.14 se presentan las distribuciones de las volatilidades, definidas como el promedio de los rendimientos absolutos $|r(t)|$ sobre una ventana de tiempo $T = n\Delta t$, es decir

$$V_T(t) = \frac{1}{n} \sum_{t'=t}^{t+n-1} |r(t')| \quad (4.1)$$

Las ventanas de tiempo se formaron con $n = 30$ y $\Delta t = 1$ pasos de simulación. En ambos casos la distribución de volatilidades es razonablemente bien ajustada por una distribución log-normal, particularmente en la region central, lo que nos hace pensar que el origen de este hecho estilizado no depende de las estrategias de los agentes involucrados en el mercado sino de la mecánica del libro de órdenes pues es el único punto en común entre las dos conformaciones de población. Esta

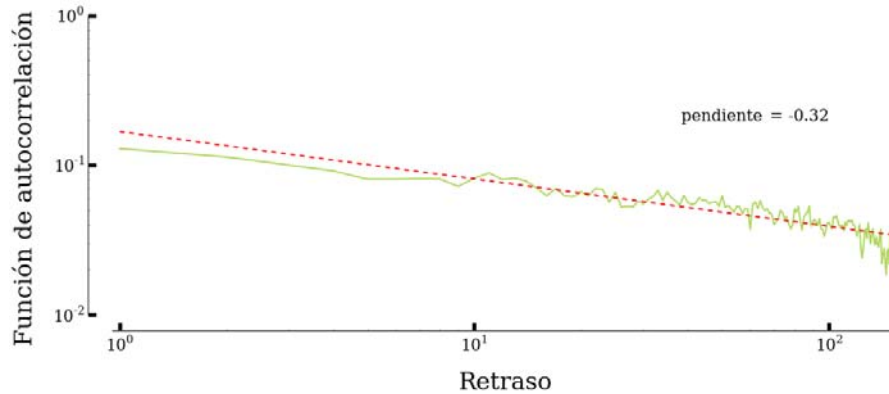


Figura 4.12: Decaimiento de la función de auto-correlación para la serie de rendimientos absolutos $|r(t)|$ para la población 2. El decaimiento se puede describir aproximadamente como una ley de potencias con exponente dentro del rango reportado por la literatura para auto-correlaciones de rendimientos en la vida real. Comparar con la figura 2.9.

hipótesis es consistente con los resultados de Thilo et al. [SSMG12], los cuales obtienen una distribución de la volatilidad cualitativamente similar con un modelo de agentes de cero inteligencia.

Las distribuciones acumuladas complementarias de la volatilidad se muestran en las figuras 4.15 y 4.16. La línea roja punteada corresponde al ajuste lineal del último 5 % de los datos en escala doble logarítmica. Las volatilidades de la simulación con fundamentales parecen ser descritas aproximadamente por un comportamiento asintótico en ley de potencia según el ajuste lineal y las de la población mixta no muestran este comportamiento.

Las distribuciones acumuladas complementarias de los rendimientos negativos(rojo), positivos(azules) y absolutos(negro) se presentan en las figuras 4.17 y 4.18. La simulación con la población de agentes fundamentales no genera asimetría en las distribuciones de cambios de precio positivos y negativos. Por el otro lado, en la simulación con agentes de ambos tipos se observa que la distribución de cambios negativos decae más lentamente que la distribución de cambios positivos, este efecto sólo se obtiene al utilizar una población mixta de agentes técnicos y fundamentales en la cual los agentes técnicos realizan ventas/compras por el mecanismo de utilidad inmediata, sin este mecanismo las colas de la distribución de rendimientos siguen siendo pesadas pero no se manifiesta una diferencia significativa entre la cola derecha (subidas de precio) y la izquierda (bajadas de precio). Esto sugie-

4.1. Comparación entre poblaciones de fundamentales y poblaciones mixtas. 57

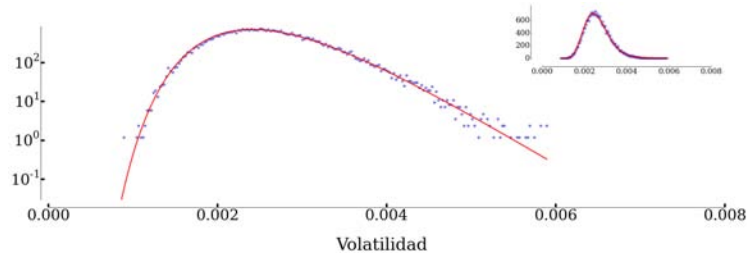


Figura 4.13: Distribución de las volatilidades para la población 1. Una distribución log-normal aproxima bastante bien a la distribución de volatilidades en la parte central. Comparar con la figura 2.15.

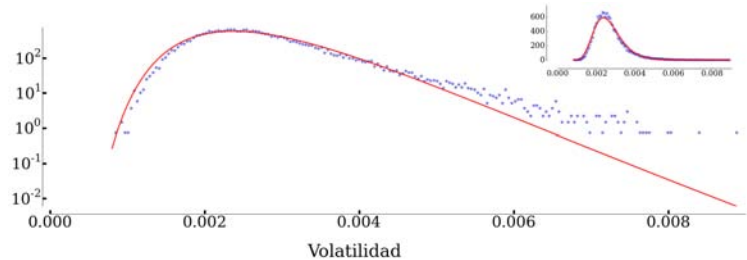


Figura 4.14: Distribución de las volatilidades para la población 2. También en este caso se pueden aproximar por una log-normal.

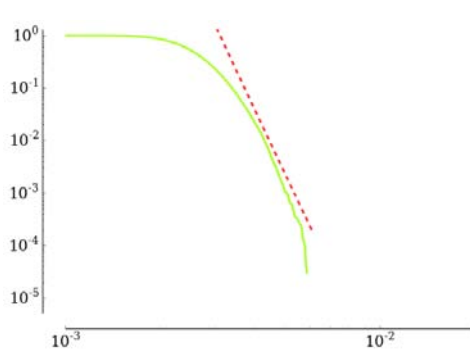


Figura 4.15: Distribución acumulada complementaria de las volatilidades de la población 1. El comportamiento en ley de potencias no es un buen descriptor de esta distribución. Comparar con la figura 2.15.

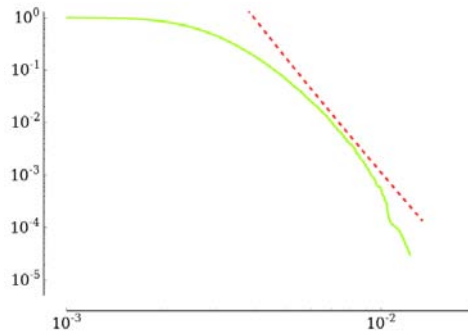


Figura 4.16: Distribución acumulada complementaria de las volatilidades de la población 2. En este caso tampoco se puede describir esta distribución como una ley de potencias pero la desviación de dicho comportamiento es mayor.

re que el origen de la asimetría entre ganancias y pérdidas es consecuencia de la asimetría en el tipo de órdenes que los técnicos emiten cuando intentan obtener utilidades inmediatas: cuando se realiza una venta por este mecanismo es con una orden *a mercado* y cuando se realiza una compra es con una orden *a precio límite*. Como consecuencia de esto, si varios agentes técnicos ven una oportunidad de obtener ganancias de manera inmediata, serán emitidas en un corto tiempo órdenes de venta a precio de mercado, provocando una caída en los precios. En el caso contrario, cuando los precios caen y los técnicos deciden comprar, lo hacen emitiendo órdenes a un precio cercano al que está siendo reportado, de manera que aún si todas las compras que se emiten por este mecanismo de utilidad inmediata fueran ejecutadas, no habría una subida apreciable en los precios.

Las funciones de correlación entre los rendimientos y los valores absolutos de los rendimientos se presentan en las figuras 4.19 y 4.20. En las dos simulaciones está ausente el efecto de apalancamiento. La ausencia de este fenómeno no es sorprendente pues ningún aspecto del comportamiento de los agentes provoca un incremento de su actividad como respuesta a las caídas de precio.

4.2. Efectos de la tasa técnicos/fundamentales

En esta sección presentamos los tres hechos estilizados más importantes para diferentes composiciones de la población de agentes. Utilizamos tres distintas poblaciones con diferente relación de agentes técnicos a fundamentales. La población 1 construida con 600 agentes fundamentales y 250 agentes técnicos de una sola familia con medias móviles de 500 y 250 pasos de tiempo. La población 2 construida con 600 agentes fundamentales y 750 agentes técnicos divididos en tres familias: 250 agentes con medias móviles de 500 y 250 pasos de tiempo, 250 agentes con medias móviles de 500 y 1000 pasos de tiempo y 250 agentes con medias móviles de 1000 y 2000 pasos de tiempo. Finalmente, la población 3 con con 600 agentes técnicos y 1250 agentes técnicos divididos en cinco tipos: 250 agentes con medias móviles de 500 y 250 pasos de tiempo, 250 agentes con medias móviles de 500 y 1000 pasos de tiempo, 250 agentes con medias móviles de 1000 y 2000 pasos de tiempo, 250 agentes con medias móviles de 2000 y 4000 pasos de tiempo y 250 agentes con medias móviles de 4000 y 8000 pasos de tiempo. Elegimos este tamaño de población de agentes fundamentales porque provee de suficiente liquidez al libro de órdenes, evitando cambios violentos de precio como respuesta a la llegada de órdenes a mercado. Por el otro lado, los distintos tamaños de población de agentes técnicos crean tasas técnicos/fundamentales que varían de 1/2 a 2 aproximadamente, de modo que podemos estudiar escenarios con escasez, igualdad y exceso de agentes

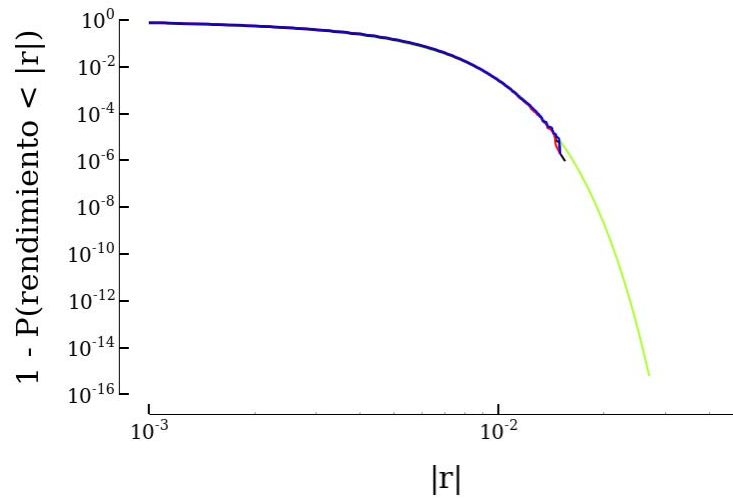


Figura 4.17: Distribución acumulada complementaria de los rendimientos de la población 1, la línea sólida verde corresponde a la distribución acumulada de una normal estándar. Como se puede ver, no se presentan ni colas pesadas ni asimetría entre las ganancias y las pérdidas.

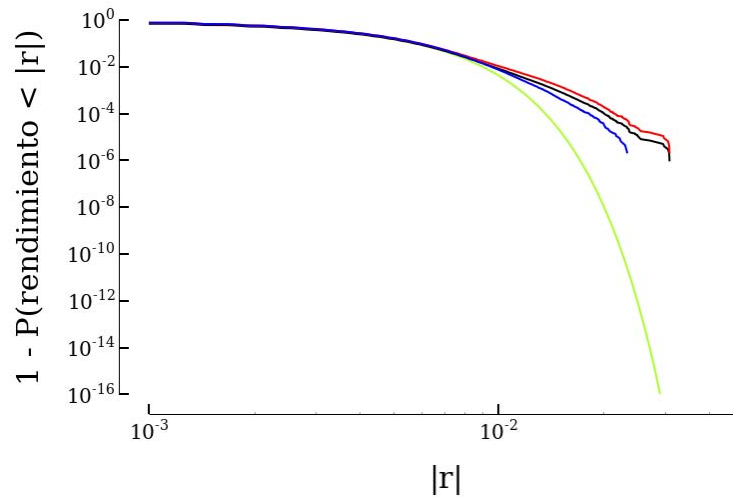


Figura 4.18: Distribución acumulada complementaria de los rendimientos de la población 2. En este caso se presentan tanto colas pesadas como asimetría entre pérdidas y ganancias, comparar con la figura 2.12.

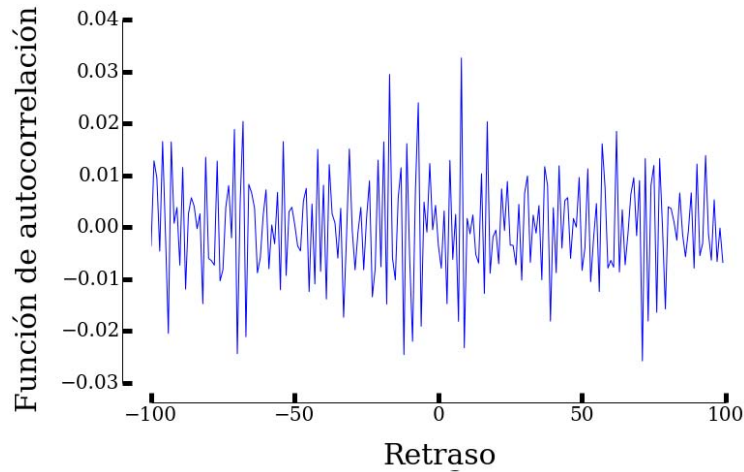


Figura 4.19: Efecto de apalancamiento en la población 1. El apalancamiento es inexistente, de manera similar a lo que ocurre con compañías individuales. Comparar con la figura 2.14.

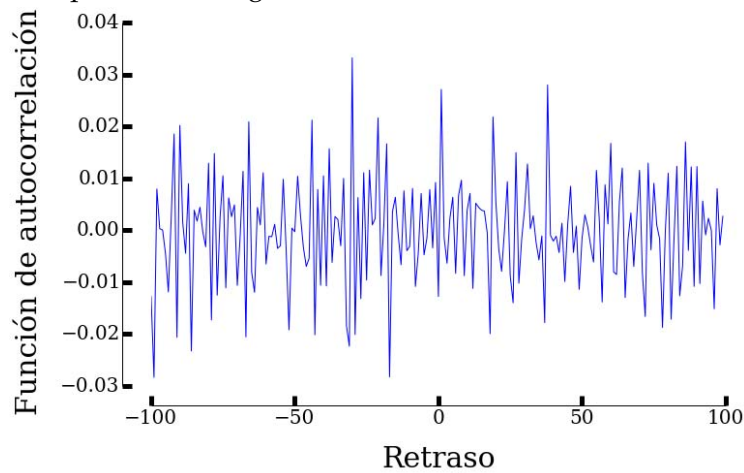


Figura 4.20: Efecto de apalancamiento en la población 2. De nuevo, no se presenta apalancamiento, lo cual sugiere que tal vez este fenómeno no depende de las estrategias de los agentes sino de la manera en que se componen los índices.

técnicos.

En las figuras 4.21(a), 4.21(b) y 4.21(c) se muestran las auto-correlaciones de los rendimientos con las tres poblaciones. En los tres casos la función de auto-correlación permanece esencialmente nula, oscilando alrededor del cero con amplitudes similares.

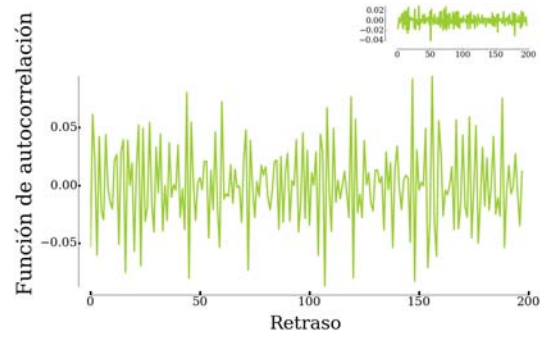
En las figuras 4.22(a), 4.22(b) y 4.22(c). Para las tres poblaciones se observa que la función de auto-correlación decae lentamente, revelando la existencia del fenómeno de aglomeración de la volatilidad. El aumento de agentes técnicos en la población con respecto al número de agentes fundamentales no parece afectar la rapidez con la que decaen las correlaciones, esto se aprecia mejor al considerar que en la población 3 los agentes técnicos superan por poco más del doble a los fundamentales, sin embargo, la auto-correlación decae aproximadamente a la misma tasa que con la población 1, con menos de la mitad de agentes técnicos que fundamentales.

El hecho de que exista la emergencia de hechos estilizados independientemente de la composición de la población del mercado es un rasgo positivo del modelo porque los hechos estilizados en la vida real se observan en mercados con distintos niveles de actividad y liquidez. Esto sugiere que los hechos estilizados son consecuencia de los aspectos cualitativos de la interacción entre los integrantes del mercado más que de aspectos cuantitativos como la cantidad de integrantes, lo cual también sucede en nuestro modelo, en el que se reproducen los hechos estilizados con diversas composiciones de población.

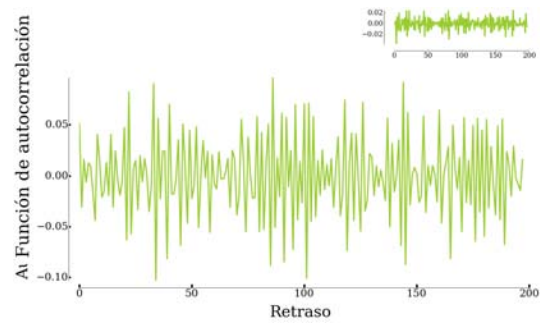
Las distribuciones acumuladas complementarias de los rendimientos estandarizados se muestran en las figuras 4.23(a), 4.23(b) y 4.23(c). Las tres composiciones de población generan distribuciones de colas pesadas con asimetría entre las colas izquierda (caídas) y derechas (subidas), siendo la cola izquierda más pesada que la derecha. De nuevo se aprecia que una mayor proporción de agentes técnicos no provoca que este hecho estilizado se manifieste con mayor intensidad: en las tres poblaciones se observan colas pesadas y una separación entre pérdidas y ganancias aproximadamente de la misma magnitud.

4.3. Efectos del mecanismo de utilidades inmediatas

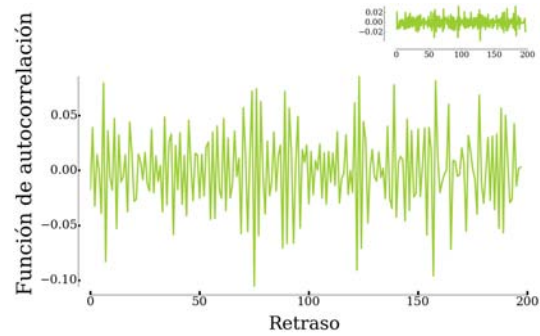
Para los siguientes resultados se utilizó una población de 500 agentes fundamentales y 1000 agentes técnicos divididos en las mismas cinco familias que se mencionaron en la sección anterior. En cada simulación variamos el valor del umbral



(a) Población 1

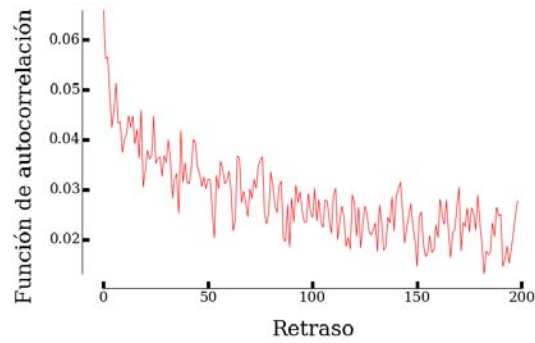


(b) Población 2

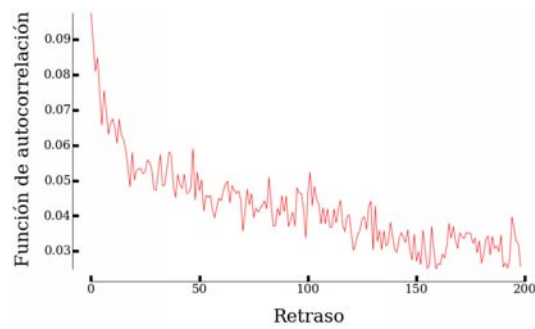


(c) Población 3

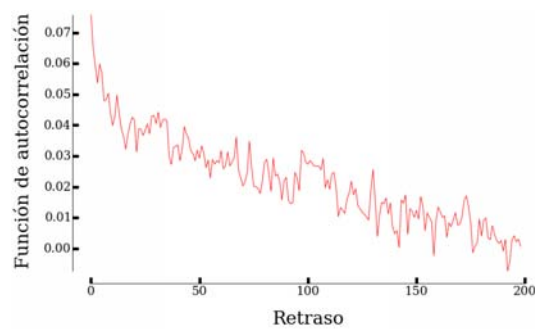
Figura 4.21: Auto-correlaciones de los rendimientos para las tres composiciones de población. En los tres escenarios se mantienen esencialmente nulas las correlaciones.



(a) Población 1

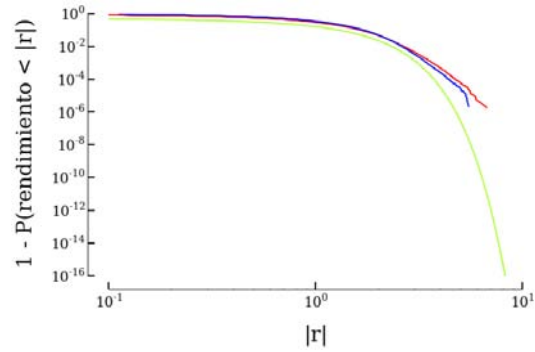


(b) Población 2

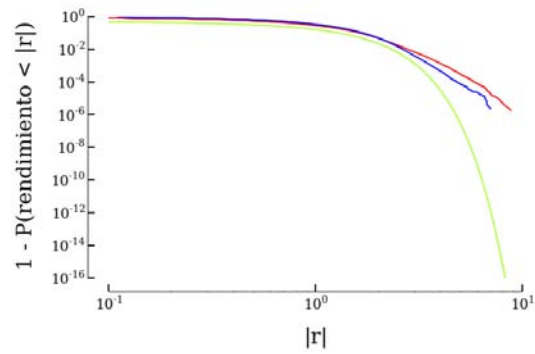


(c) Población 3

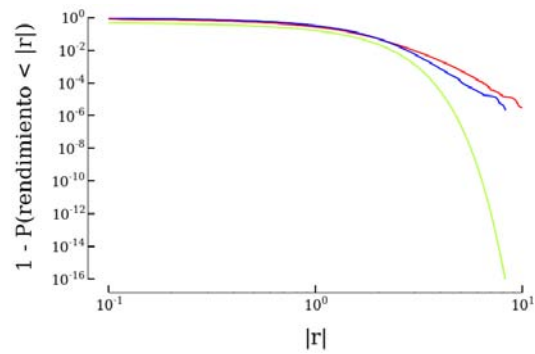
Figura 4.22: Funciones de auto-correlación de los valores absolutos de los rendimientos para las tres composiciones de población. Los tres escenarios reproducen el fenómeno de aglomeración de volatilidad, sin diferencias importantes en la magnitud.



(a) Población 1



(b) Población 2



(c) Población 3

Figura 4.23: Funciones de distribución acumulada complementaria de los rendimientos estandarizados para las tres composiciones de población. Aunque las tres poblaciones generan colas pesadas y asimetría, cuando hay pocos agentes técnicos (población 1) ambos efectos son menos pronunciados de lo que producen poblaciones con una mayor fracción de técnicos (poblaciones 2 y 3).

de utilidad inmediata α para identificar el efecto que tenía sobre las distribuciones de rendimientos porque es este rasgo del comportamiento de los técnicos el que proponemos como causante de la asimetría entre ganancias y pérdidas.

En las figuras 4.24(a), 4.24(b) y 4.24(c) se muestran las distribuciones complementarias de los rendimientos y es visible que valores pequeños de α generan mayor asimetría en la distribución de pérdidas y ganancias. De hecho, cuando se utilizan valores tan altos que produzcan el cese de esta actividad, las distribuciones colapsan una sobre la otra, confirmando la hipótesis de que es este mecanismo el que provoca que la cola de las pérdidas decaiga más lento que la de las ganancias.

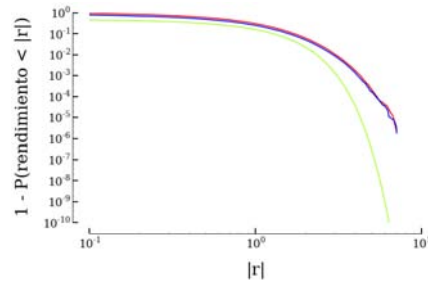
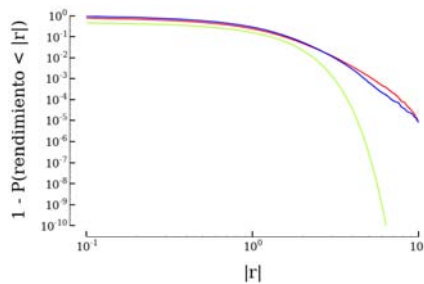
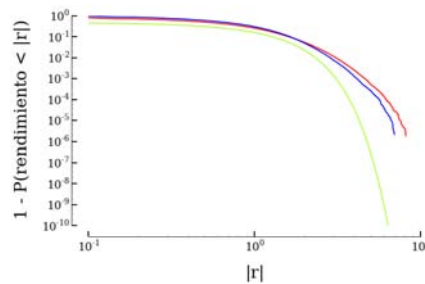
(a) Población 1 con $\alpha = 0.1$ (b) Población 2 con $\alpha = 0.01$ (c) Población 3 con $\alpha = 0.001$

Figura 4.24: Funciones de distribución acumulada complementaria de los rendimientos estandarizados para sub-poblaciones de agentes fundamentales con diferentes umbrales para el mecanismo de utilidades inmediatas. Conforme se eligen valores más pequeños de umbral, el efecto de asimetría se pronuncia más.

4.4. Ganancias

En la figura 4.25 se muestra la historia de precios de una simulación a la que llamaremos escenario 1, en la cual el precio final es menor que el precio inicial. Similarmente, en la figura 4.26 se muestran los precios de una simulación a la que llamaremos escenario 2 cuyo precio final es mayor al precio final.

Para cada escenario calculamos las ganancias de los agentes de inicio a fin de las simulaciones definiendo ganancia como

$$W = C + \eta P \quad (4.2)$$

Donde C representa el dinero que el agente ha obtenido como resultado de sus transacciones, η es el número de unidades del bien que el agente ha adquirido y P es el precio del bien, siendo todas estas cantidades estimadas al final de la simulación. Las ganancias de los agentes correspondientes al escenario 1 se muestran en las figuras 4.27, 4.28, 4.29 y 4.30. En ambos escenarios se les permite a los agentes técnicos utilizar ventas con el mecanismo de utilidades inmediatas.

Como se puede observar, la distribución de ganancias de los agentes fundamentales permanece prácticamente sin cambios en ambos escenarios mientras que los agentes técnicos son fuertemente afectados por el desarrollo de los precios. Cuando en una simulación el precio final es menor que el inicial, los técnicos obtienen ganancias. Esto sucede porque al comprar las unidades de bien que deben regresar, éstas tienen un precio menor que el precio al cual las vendieron, de modo que el agente obtiene como ganancia la diferencia entre los precios de venta y el precio final de los bienes.

Si, por el otro lado, el precio final en una simulación es mayor que el inicial, las unidades de bien que pidió prestadas cada agente son más caras de lo que obtuvieron por ellas al venderlas, de modo que pierden dinero al devolver las unidades que deben. La magnitud de las ganancias o pérdidas dependerá entonces de qué tanto se desvían los precios hacia el final de la simulación de sus valores iniciales, esto se aprecia al comparar la magnitud de las pérdidas con las de las ganancias en las figuras 4.29 y 4.30.

En las figuras 4.31 y 4.32 se muestran los precios para dos simulaciones en las que se impide a los agentes técnicos utilizar el mecanismo de utilidades inmediatas. De nuevo, se seleccionan dos escenarios distintos, uno en el que los precios caen por debajo del precio inicial al que llamamos escenario 3 y otro en el que son mayores que el precio inicial al que llamamos escenario 4.

Las distribuciones de ganancias se reportan en las figuras 4.33, 4.34, 4.35 y 4.36. En

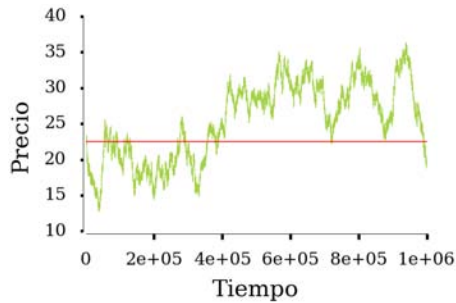


Figura 4.25: Precios correspondientes al escenario 1.

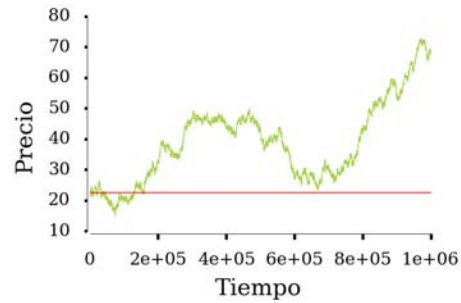


Figura 4.26: Precios correspondientes al escenario 2.

este caso, la mayoría de los agentes técnicos tienden a reportar pérdidas, independientemente de las condiciones finales de los precios mientras que para los agentes fundamentales la distribución de ganancias no cambia de forma. La diferencia entre los escenarios en los que se permite el mecanismo de utilidades inmediatas y los escenarios en los que se suprime es que la magnitud de las pérdidas no parece ser afectado por la separación entre el precio final e inicial.

En resumen, cuando los agentes técnicos se guía sólo por sus indicadores, tienden a sufrir pérdidas cuya magnitud parece ser independiente de la última posición de los precios mientras que al utilizar el mecanismo de utilidades inmediatas, es posible obtener ganancias si los precios finales son apreciablemente menores que los iniciales. Para los agentes fundamentales las ganancias siempre se distribuyen de manera uniforme alrededor del cero sin sufrir afectaciones por el desarrollo de los precios.

Los resultados relacionados con las ganancias de los agentes deben ser considerados con mayor cautela que la emergencia de los hechos estilizados pues el comportamiento individual de un agente es una sobre simplificación del comportamiento que un individuo en la vida real manifestaría. Solamente al agregar las actividades de un tipo de agentes determinado se logra obtener una versión suficientemente realista del efecto que tiene sobre el mercado las estrategias individuales de esos agentes.

Finalmente, aún si lográramos construir estrategias que aproximaran con alta precisión el comportamiento de las personas en el mercado, no existen fuentes de datos empíricos para contrastar con los resultados que arroja el modelo, haciendo imposible la validación de la estadística de las ganancias. En el apéndice situado en el capítulo 9 se condensan los resultados obtenidos en diferentes tablas.

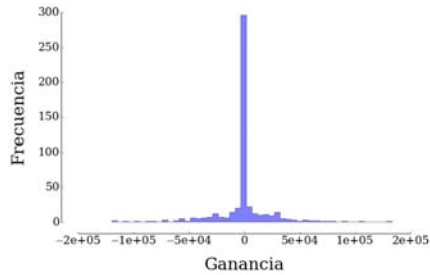


Figura 4.27: Ganancias de los fundamentales en el escenario 1.

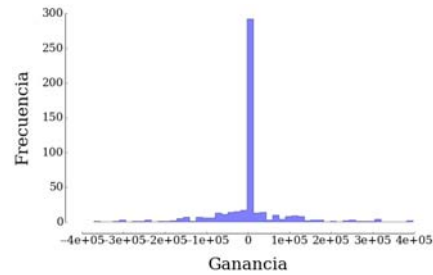


Figura 4.28: Ganancias de los fundamentales en el escenario 2.

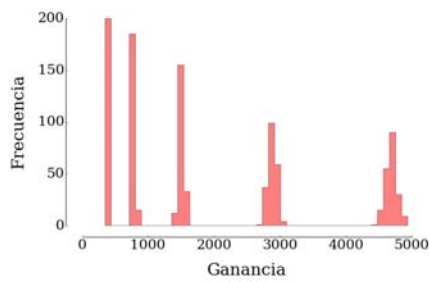


Figura 4.29: Ganancias de los técnicos en el escenario 1.

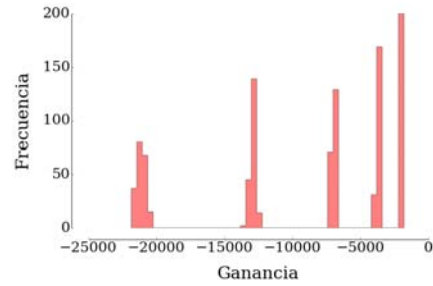


Figura 4.30: Ganancias de los técnicos en el escenario 2.

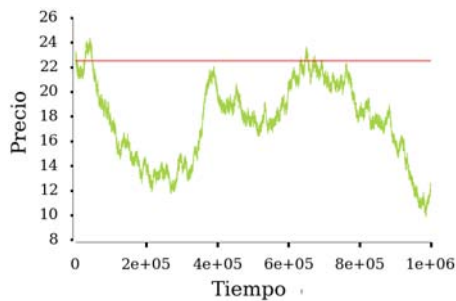


Figura 4.31: Precios correspondientes al escenario 3.

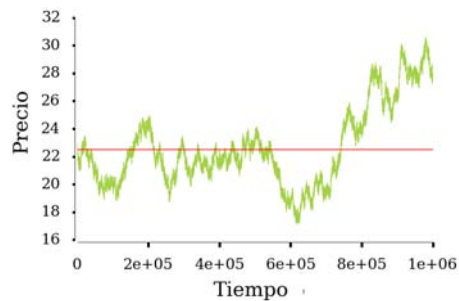


Figura 4.32: Precios correspondientes al escenario 4.

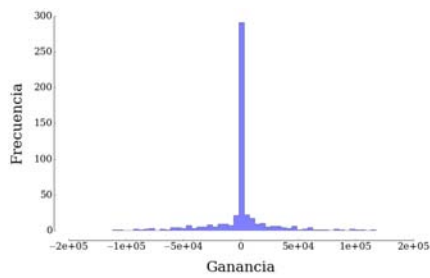


Figura 4.33: Ganancias de los fundamentales en el escenario 1.

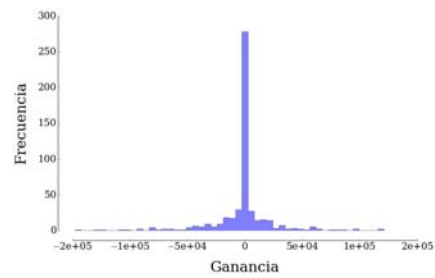


Figura 4.34: Ganancias de los fundamentales en el escenario 2.

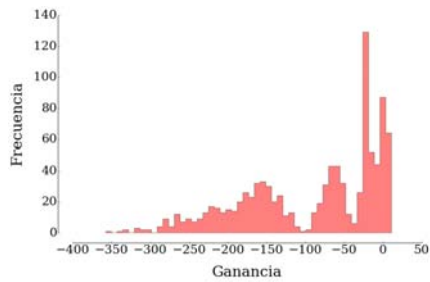


Figura 4.35: Ganancias de los técnicos en el escenario 1.

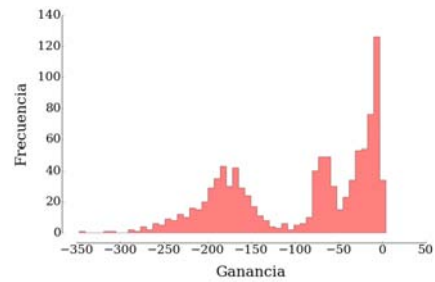


Figura 4.36: Ganancias de los técnicos en el escenario 2.

Capítulo 5

Conclusiones y perspectivas

En este trabajo se estudió un modelo de mercado financiero basado en agentes con el cual se pueden reproducir varios de los hechos estilizados que se han reportado en la literatura. La población de los agentes se divide en dos tipos según la estrategia de comercio que utilizan: agentes fundamentalistas y agentes técnicos. Los efectos de la actividad de estos dos tipos de agentes en el mercado son opuestos en relación con la volatilidad de los precios: mientras que los fundamentalistas tienden a estabilizar los precios, los técnicos crean fluctuaciones violentas cuando están activos.

Cuando se utiliza una población conformada de agentes fundamentalistas exclusivamente, los hechos estilizados relacionados con desviaciones de gaussianidad en los rendimientos no se presentan, siendo la distribución de rendimientos muy parecida a una distribución normal y el fenómeno de agregación de la volatilidad muy débil. Los hechos estilizados que si se presentan son la ausencia de correlaciones en los rendimientos y la distribución log-normal de las volatilidades.

Al introducir agentes técnicos en la población se observan claramente los hechos estilizados relacionados con desviaciones de la gaussianidad. La distribución de rendimientos presenta colas pesadas y la función de auto-correlación de los rendimientos absolutos decae lentamente, de manera aproximada a una ley de potencias, siendo este decaimiento lento la firma característica de la agregación de la volatilidad.

La asimetría ente pérdidas y ganancias sólo se presenta cuando los agentes técnicos tienen un umbral γ del mecanismo de utilidad inmediata lo suficientemente pequeño como para permitir ventas/compras por este medio. Entonces, la aversión al riesgo en la forma que la modelamos, por medio de la adquisición de utilidades inmediatas, es causante de que las pérdidas presenten una cola más pesada que las

ganancias. Esta forma de representar la aversión al riesgo no es única, de manera que no se puede concluir que en la vida real es dicha aversión la causante de la asimetría en la distribución de rendimientos. Sin embargo, pensamos que el hecho de realizar ventas cuando se obtiene una ganancia casi segura (siendo el único riesgo la liquidez) en lugar de mantenerse apostando por una subida de precios captura la esencia de la aversión al riesgo y los resultados de la simulación sugieren que éstas están relacionadas con las asimetrías generadas en la vida real. Aunque es claro que la aversión al riesgo que proponemos reproduce la separación de las ganancias y las pérdidas en el modelo, es una característica de comportamiento diseñada específicamente para generar asimetría, al contrario del resto del comportamiento, y no descartamos que existan mejores mecanismos de auto-organización que emerjan de manera endógena y que reproduzcan el fenómeno.

Con respecto a la distribución de las volatilidades, independientemente de la composición de la población ésta es bien aproximada por una log-normal en la parte central. Esto nos hace pensar que la forma de la distribución no es consecuencia de las estrategias sino de la mecánica del libro de órdenes.

La distribución de las ganancias de los agentes fundamentales es aproximadamente simétrica y permanece sin cambios cualitativos en historias que presentan precios en crecimiento y precios en disminución. Las ganancias de los agentes técnicos por otra parte son altamente dependientes de la historia de los precios y de la frecuencia con que realizan ventas para obtener utilidades inmediatas: cuando realizan ventas para utilidades inmediatas con mucha frecuencia les es conveniente que los precios presenten disminuciones en el largo plazo de otra forma reportan pérdidas, en ambos casos la magnitud de ganancias/pérdidas depende de la desviación que sufren los precios finales de los iniciales. Dado que no existen datos empíricos disponibles de manera pública sobre la distribución de ganancias en mercados reales estos resultados no pueden ser validados. El modelo en su estado actual no reproduce el efecto de apalancamiento porque nada en el comportamiento de los dos tipos de agentes les induce a vender sus posiciones si se presenta una caída grande en los precios. Una modificación al comportamiento de los agentes que podría producir la emergencia de este fenómeno es la introducción de ventas de pánico cuando se presenten rendimientos negativos de magnitud considerable. Dicha modificación, sin embargo, sería específicamente diseñada para reproducir este hecho estilizado y sufriría de los mismos inconvenientes que el mecanismo de utilidades inmediatas.

Capítulo 6

Apéndice 1

6.1. Dinámica y algoritmos del modelo

6.1.1. Clase Agente

Propiedades:

- entero** ID
- booleano** Activo
- flotante** UltimoPrecio
- entero** TotalBienes
- flotante** Riqueza

Funciones Abstractas:

- booleano** EstaActivo()
- flotante** DecidirPrecioLimite()
- Orden** DecidirTipoOrden()

Procedimiento IngresarOrden

Salida: Orden nuevaOrden

Datos: nuevaOrden, tipoNuevaOrden

```

1 tipoNuevaOrden ← DecidirTipoOrden()
2 si tipoNuevaOrden es orden límite entonces
   | /* Como es tipo límite, se crea una orden con precio */
3   | nuevaOrden ← Orden(ID, DecidirPrecioLimite(), tipoNuevaOrden);
4   | devolver nuevaOrden;
5 en otro caso
   | /* Como es a mercado, no tiene precio */
6   | nuevaOrden ← Orden(ID, tipoNuevaOrden);
7   | devolver nuevaOrden;

```

Procedimiento ActualizarRiqueza

Entrada: Orden transaccion, **booleano** exito

```

1 si exito es verdadero entonces
2   | si transaccion fue una compra entonces
3   |   | Riqueza ← Riqueza - LibroOrdenes.PrecioUltimaTransaccion;
4   |   | TotalBienes ← TotalBienes + 1;
5   | en otro caso
6   |   | Riqueza ← Riqueza + LibroOrdenes.PrecioUltimaTransaccion;
7   |   | TotalBienes ← TotalBienes - 1;

```

6.1.2. Clase Fundamental (derivada de la clase Agente)

Propiedades:

- | flotante σ
- | flotante $\chi_{opinion}$
- | flotante p_f
- | flotante χ_{market}
- | flotante estatico $\sigma_{noticias}$
- | flotante estatico ProbabilidadActivo

Procedimiento DecidirPrecioLimite

Entrada: Orden tipoNuevaOrden**Salida:** Precio**Datos:** **booleano** Reflejada, **flotante** Precio

```

1 si tipoNuevaOrden es una orden límite de compra entonces
2   Reflejada  $\leftarrow$  cierto;
3   Precio  $\leftarrow$  NumeroExponencialDesplazado( $\lambda$ , Reflejada);
4   mientras Precio < 0 hacer
5     Precio  $\leftarrow$  NumeroExponencialDesplazado( $\lambda$ , Reflejada);
6   devolver Precio;
7 si tipoNuevaOrden es una orden límite de venta entonces
8   Reflejada  $\leftarrow$  falso;
9   Precio  $\leftarrow$  NumeroExponencialDesplazado( $\lambda$ , Reflejada);
10  devolver Precio;

```

Procedimiento DecidirTipoOrden

Salida: TipoOrden tipoNuevaOrden**Datos:** Diferencia

```

1 AjustarPFAOpinion();
2 si  $p_f \geq B_{venta}$  entonces
3   Diferencia  $\leftarrow$   $|1 - \frac{p_f}{B_{venta}}|$ ;
4   si Diferencia >  $\chi_{mercado}$  entonces
5     devolver tipoNuevaOrden  $\leftarrow$  TipoOrden.CompraMercado;
6   en otro caso
7     devolver tipoNuevaOrden  $\leftarrow$  TipoOrden.CompraLimite;
8 en otro caso
9   Diferencia  $\leftarrow$   $|1 - \frac{p_f}{B_{compra}}|$ ;
10  si Diferencia >  $\chi_{mercado}$  entonces
11    devolver tipoNuevaOrden  $\leftarrow$  TipoOrden.VentaMercado;
12  en otro caso
13    devolver tipoNuevaOrden  $\leftarrow$  TipoOrden.VentaLimite;

```

Procedimiento ReaccionarANoticia

Entrada: Orden valorNoticia

1 $p_f \leftarrow \text{NumeroGaussiano}(\mu \leftarrow \text{valorNoticia}, \sigma_{\text{noticias}});$

Procedimiento AjustarPFAOpinion

Datos: booleano Diferencia

1 Diferencia $\leftarrow |1 - \frac{p_f}{\mu_{\text{margen}}}|;$
2 **si** Diferencia $> \chi_{\text{opinion}}$ **entonces**
3 **si** $p_f > \mu_{\text{margen}}$ **entonces**
4 $p_f \leftarrow \mu_{\text{spread}}(1 + \chi_{\text{opinion}});$
5 **en otro caso**
6 $p_f \leftarrow \mu_{\text{spread}}(1 - \chi_{\text{opinion}});$

Procedimiento EstaActivo

Salida: booleano Activo

Datos: flotante numeroAleatorioUniforme

1 numeroAleatorioUniforme $\leftarrow \text{NumeroUniforme}(0,1);$
2 **si** numeroAleatorioUniforme $\leq \text{ProbabilidadActivo}$ **entonces**
3 **devolver** Activo \leftarrow **cierto**;
4 **en otro caso**
5 **devolver** Activo \leftarrow **falso**;

6.1.3. Clase Técnico (derivada de la clase Agente)

Propiedades:

entero MaximaEspera
flotante UmbralUtilidadInmediata,
Indicador TipoUltimaSeñal,
booleano EsperandoUtilidadInmediata,
booleano EsperandoAcatarSeñal
entero ProximoTiempoActivo

Procedimiento DecidirTipoOrden

Salida: TipoOrden tipoNuevaOrden

```

1 si TipoUltimaSeñal = Indicador.Compra entonces
2   si EsperandoUtilidadInmediata = cierto entonces
3     EsperandoUtilidadInmediata ← falso;
4     devolver tipoNuevaOrden ← TipoOrden.VentaMercado;
5   en otro caso
6     EsperandoUtilidadInmediata ← cierto;
7     EsperandoAcatarSeñal ← falso;
8     devolver tipoNuevaOrden ← TipoOrden.CompraMercado;
9 en otro caso
10  EsperandoUtilidadInmediata ← cierto;
11  EsperandoAcatarSeñal ← falso;
12  devolver tipoNuevaOrden ← TipoOrden.CompraMercado;
  
```

Procedimiento EstaActivo

Salida: Activo

```

1 si Tiempo.Actual = ProximoTiempoActivo entonces
2   ProximoTiempoActivo ← -1;
3   devolver Activo ← cierto;
4 en otro caso
5   devolver Activo ← falso;
  
```

Procedimiento DecidirTipoOrden

Salida: TipoOrden tipoNuevaOrden

Datos: Diferencia

```

1 AjustarPFAOpinion();
2 si  $p_f \geq B_{venta}$  entonces
3   | Diferencia  $\leftarrow \left|1 - \frac{p_f}{B_{venta}}\right|$ ;
4   | si Diferencia  $> \chi_{mercado}$  entonces
5     | devolver tipoNuevaOrden  $\leftarrow$  TipoOrden.CompraMercado;
6   | en otro caso
7     | devolver tipoNuevaOrden  $\leftarrow$  TipoOrden.CompraLimite;
8 en otro caso
9   | Diferencia  $\leftarrow \left|1 - \frac{p_f}{B_{compra}}\right|$ ;
10  | si Diferencia  $> \chi_{mercado}$  entonces
11    | devolver tipoNuevaOrden  $\leftarrow$  TipoOrden.VentaMercado;
12  | en otro caso
13    | devolver tipoNuevaOrden  $\leftarrow$  TipoOrden.VentaLimite;

```

Procedimiento EscucharIndicador

Entrada: Indicador Señal

```

1 TipoUltimaSeñal  $\leftarrow$  Señal;
2 ProximoTiempoActivo  $\leftarrow$  Tiempo.Actual + NumeroUniforme(0,
  MaximaEspera) + 1;
3 EsperandoAcatarSeñal  $\leftarrow$  cierto;

```

Procedimiento AcatarSeñal

Datos: Diferencia, numeroAleatorioUniforme

```

1 si (EsperandoAcatarSeñal = cierto y EsperandoUtilidadInmediata = cierto y
  TipoUltimaSeñal ≠ Indicador.Nula) entonces
2   si ( TipoUltimaSeñal = Indicador.Compra y Precio > UltimoPrecio y
    Diferencia > UmbralUtilidadInmediata ) entonces
3     numeroAleatorioUniforme ← NúmeroUniforme(0,1);
4     si numeroAleatorioUniforme entonces
5       | ProximoTiempoActivo ← Tiempo.Actual;
6     en otro caso
7       | EsperandoUtilidadInmediata ← falso;

```

6.1.4. Clase Libro (esta clase es estática, por lo tanto todos sus miembros son estáticos)**Propiedades:**

```

conjuntoordenado PreciosVenta
conjuntoordenado PreciosCompra
diccionario OrdenesVenta
diccionario OrdenesCompra
flotante PrecioUltimaTransaccion
listaenlazada OrdenesVenta
listaenlazada OrdenesCompra
nodo MejorOrdenVenta
nodo MejorOrdenCompra
flotante  $\mu_{margen}$ 
delegado CriterioColision(flotante a, flotante b)

```

Procedimiento EstablecerEstadoInicial

Entrada: *flotante* *traslape*, **diccionario** *preciosFundamentales*

Datos: *flotante* *PrecioMedioInicial*, *flotante* *PrecioOrden*, **Orden** *NuevaOrden*

- 1 $PrecioMedioInicial \leftarrow preciosFundamentales.promedio;$
 - 2 **para cada** *Precio* *en* *preciosFundamentales* **hacer**
 - 3 **si** $Precio \geq PrecioMedioInicial$ **entonces**
 - 4 $PrecioOrden \leftarrow PrecioMedioInicial - traslape \cdot \text{NúmeroUniforme}(0,1);$
 - 5 $NuevaOrden \leftarrow Orden(PrecioOrden, TipoOrden.CompraLimite);$
 - 6 **en otro caso**
 - 7 $PrecioOrden \leftarrow PrecioMedioInicial + traslape \cdot \text{NúmeroUniforme}(0,1);$
 - 8 $NuevaOrden \leftarrow Orden(PrecioOrden, TipoOrden.VentaLimite);$
 - 9 $MejorOrdenVenta \leftarrow OrdenesVenta[PreciosVenta.Minimo].Primero;$
 - 10 $MejorOrdenVenta \leftarrow OrdenesCompra[PreciosCompra.Maximo].Primero;$
 - 11 $PrecioUltimaTransaccion \leftarrow \mu_{margen};$
-

Procedimiento EjecutarOrden

Entrada: **Orden** *nuevaOrden*, **nodo** *ordenAlmacenada*

Salida: booleano que indica si se ejecutó *ordenAlmacenada*

- 1 **si** *nuevaOrden* *no es una orden nula* **entonces**
 - 2 \lfloor $BorrarOrdenesAntiguas(ordenAlmacenada);$
 - 3 **si** *nuevaOrden* *es una orden límite* **entonces**
 - 4 \lfloor **devolver** $llamar EjecutarOrdenLimite(nuevaOrden);$
 - 5 **sinó, si** *nuevaOrden* *es una orden a mercado* **entonces**
 - 6 \lfloor **devolver** $EjecutarOrdenMercado(nuevaOrden);$
 - 7 **en otro caso**
 - 8 \lfloor **devolver falso;**
-

Procedimiento EjecutarOrdenMercado

Entrada: Orden nuevaOrden**Salida:** cierto si existen órdenes con que cumplir nuevaOrden

```

1 si nuevaOrden es de compra entonces
2   PrecioUltimaTrasaccion ← MejorOrdenVenta.Precio;
3   OrdenesVenta[PrecioUltimaTrasaccion].Remove(MejorOrdenVenta);
4   BorrarPreciosInexistentes(PrecioUltimaTrasaccion, OrdenesVenta,
   PreciosVenta);
5   MejorOrdenVenta ← OrdenesVenta[PreciosVenta.Minimo].Primero;
6 en otro caso
7   PrecioUltimaTrasaccion ← MejorOrdenCompra.Precio;
8   OrdenesCompra[PrecioUltimaTrasaccion].Remove(MejorOrdenCompra);
9   BorrarPreciosInexistentes(PrecioUltimaTrasaccion, OrdenesCompra,
   PreciosCompra);
10  MejorOrdenCompra ← OrdenesCompra[PreciosCompra.Maximo].Primero;
11 devolver cierto;
```

Procedimiento EjecutarOrdenLimite

Entrada: Orden nuevaOrden**Salida:** booleano que indica si se pudo ejecutar la orden

Datos: delegado CriterioCompatibilidad, nodo OrdenCompatible, diccionario ContenedorOrdenesSimilares, diccionario ContenedorOrdenesContrarias, conjuntoordenado PreciosOrdenesSimilares, conjuntoordenado PreciosOrdenesContrarias

```

1 SeleccionarContenedores(nuevaOrden, ContenedorOrdenesSimilares,
   ContenedorOrdenesContrarias, PreciosOrdenesSimilares,
   PreciosOrdenesContrarias, CriterioCompatibilidad);
2 OrdenCompatible ← ObtenerOrdenCompatible(nuevaOrden,
   ContenedorOrdenesSimilares, ContenedorOrdenesContrarias,
   CriterioCompatibilidad);
3 devolver ProcesarResultadosCompatibilidad(nuevaOrden,
   ContenedorOrdenesSimilares, ContenedorOrdenesContrarias,
   PreciosOrdenesSimilares, PreciosOrdenesContrarias, OrdenCompatible );
```

Procedimiento SeleccionarContenedores

Entrada: Orden nuevaOrden

- 1 **si** nuevaOrden *es de compra a precio límite* **entonces**
 - 2 ContenedorOrdenesSimilares \leftarrow OrdenesCompra;
 - 3 ContenedorOrdenesContrarias \leftarrow OrdenesVenta;
 - 4 PreciosOrdenesSimilares \leftarrow PreciosCompra;
 - 5 PreciosOrdenesContrarias \leftarrow PreciosVenta;
 - 6 CriterioCompatibilidad \leftarrow (nuevoPrecio, antiguoPrecio) \implies antiguoPrecio \leq nuevoPrecio;
 - 7 **en otro caso**
 - 8 ContenedorOrdenesSimilares \leftarrow OrdenesVenta;
 - 9 ContenedorOrdenesContrarias \leftarrow OrdenesCompra;
 - 10 PreciosOrdenesSimilares \leftarrow PreciosVenta;
 - 11 PreciosOrdenesContrarias \leftarrow PreciosCompra;
 - 12 CriterioCompatibilidad \leftarrow (nuevoPrecio, antiguoPrecio) \implies antiguoPrecio \geq nuevoPrecio;
-

Procedimiento ObtenerOrdenCompatible

Entrada: Orden nuevaOrden, **conjuntoordenado** PreciosOrdenesContrarias, **diccionario** ContenedorOrdenesContrarias, **delegado** CriterioCompatibilidad

Salida: **nodo** OrdenCompatible

- 1 **para cada** Precio *en* ContenedorOrdenesContrarias **hacer**
 - 2 **si** CriterioCompatibilidad(nuevaOrden.Precio, Precio) **entonces**
 - 3 **devolver** OrdenCompatible \leftarrow
 ContenedorOrdenesContrarias[Precio].Primero;
 - 4 **devolver nulo;**
-

Procedimiento ProcesarResultadosCompatibilidad

Entrada: **Orden** nuevaOrden, **diccionario** ContenedorOrdenesSimilares, **conjuntoordenado** PreciosOrdenesSimilares, **conjuntoordenado** PreciosOrdenesContrarias, **diccionario** ContenedorOrdenesContrarias, **Orden** OrdenCompatible

Salida: booleano que indica si la orden límite se ejecutó

```

1 si OrdenCompatible no es nula entonces
2   PrecioUltimaTransaccion ← OrdenCompatible.Precio;
3   BorrarOrdenCompatible(OrdenCompatible, ContenedorOrdenesContrarias,
4     PreciosOrdenesContrarias);
5   ReemplazarMejorOrden(OrdenCompatible);
6   devolver cierto;
7 en otro caso
8   AgregarOrdenLimite(nuevaOrden, ContenedorOrdenesSimilares,
9     PreciosOrdenesSimilares);
10  RevisarNuevaMejorOrden(OrdenCompatible);
11  devolver falso;

```

Procedimiento RevisarNuevaMejorOrden

Entrada: **nodo** nuevaOrden, **booleano** llamadaDesdeRemocionOrdenVieja

Salida: booleano que indica si la orden límite se ejecutó

```

1 si nuevaOrden.Tipo = TipoOrden.CompraLimite entonces
2   MejorOrdenCompra ← OrdenesCompra[PreciosCompra.Maximo].Primero;
3 si nuevaOrden.Tipo = TipoOrden.VentaLimite entonces
4   MejorOrdenVenta ← OrdenesVenta[PreciosVenta.Minimo].Primero;

```

Procedimiento AgregarOrdenLimite

Entrada: Orden nuevaOrden, **diccionario** ContenedorOrdenesSimilares, **conjuntoordenado** PreciosOrdenesSimilares

Salida: nodo OrdenAlmacenada

- 1 **si** PreciosOrdenesSimilares *tiene a* nuevaOrden.Precio *y no existe una orden con el mismo precio que* nuevaOrden **entonces**
 - 2 | Crear entrada nueva para nuevaOrden en ContenedorOrdenesSimilares;
 - 3 | Añadir nuevaOrden.Precio a PreciosOrdenesSimilares;
 - 4 | Añadir nuevaOrden a ContenedorOrdenesSimilares;
 - 5 **en otro caso**
 - 6 | Añadir nuevaOrden a ContenedorOrdenesSimilares;
 - 7 **devolver** OrdenAlmacenada ← ContenedorOrdenesSimilares[nuevaOrden.Precio]
-

Procedimiento BorrarOrdenesAntiguas

Entrada: nodo ordenAntigua

Datos: **diccionario** ContenedorOrdenesSimilares, **conjuntoordenado** PreciosOrdenesSimilares

- 1 **si** ordenAntigua.Tipo = **TipoOrden.CompraLimite** **entonces**
 - 2 | ContenedorOrdenesSimilares ← OrdenesCompra;
 - 3 | PreciosOrdenesSimilares ← PreciosOrdenesCompra;
 - 4 **en otro caso**
 - 5 | ContenedorOrdenesSimilares ← OrdenesVenta;
 - 6 | PreciosOrdenesSimilares ← PreciosOrdenesVenta;
 - 7 ContenedorOrdenesSimilares[ordenAntigua.Precio].Remove(ordenAntigua);
 - 8 BorrarPreciosInexistentes(ordenAntigua.Precio, ContenedorOrdenesSimilares, PreciosOrdenesSimilares);
 - 9 RevisarNuevaMejorOrden(ordenAntigua, **cierto**);
-

Procedimiento BorrarOrdenCompatible

Entrada: **Orden** ordenCompatible, **diccionario** ContenedorOrdenesContrarias, **conjuntoordenado** PreciosOrdenesContrarias

Datos: **flotante** precioCompatible

- 1 precioCompatible \leftarrow ordenCompatible.Precio;
 - 2 ContenedorOrdenesContrarias[precioCompatible].Remove(ordenCompatible);
 - 3 BorrarPreciosInexistentes(precioCompatible, ContenedorOrdenesSimilares, PreciosOrdenesSimilares);
-

Procedimiento BorrarPreciosInexistentes

Entrada: **flotante** precio, **diccionario** ContenedorOrdenes, **conjuntoordenado** PreciosOrdenes

- 1 **si** ContenedorOrdenes *no está vacío* **entonces**
 - 2 └ PreciosOrdenes.Remove(precio);
-

Capítulo 7

Apéndice 2

7.1. Descripción formal de la estructura del modelo

El mercado que tratamos es un mercado bursátil de un sólo bien que se puede describir por una 6-tupla $M = (F, T, L, P, I, N)$ donde:

$F = \{F_1, F_2, \dots, F_m\}$ es el conjunto de agentes fundamentales. Cada uno de los cuales se caracteriza por $F_i = (p_f, \chi_{market}, \chi_{opinion})$, siendo p_f el precio fundamental, χ_{market} el umbral de regateo y $\chi_{opinion}$ el umbral de resistencia a la opinión pública. Todos los agentes fundamentales extraen los cambios de sus precios fundamentales de una misma distribución normal $N(\eta_{t'_i}, \sigma)$ donde $\eta_{t'_i}$ es el valor de las noticias al tiempo t'_i y elijen los precios de sus órdenes límite de una misma distribución exponencial desplazada $f(x; \lambda, \mu_{spread})$.

$T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ es el conjunto de agentes técnicos, caracterizados por $T_i = (\gamma, I_j)$ en donde γ es el umbral de utilidades inmediatas y $I_j \in I$ es el indicador técnico al cual se suscribe el agente. Todos los agentes técnicos toman sus tiempos de espera de la misma distribución discreta uniforme $\mathcal{U}(w_{min}, w_{max})$.

Cada agente pertenece exclusivamente a un sólo tipo de población de manera que $T \cap F = \emptyset$ y la población de agentes es siempre positiva, de manera que $T \cup F \neq \emptyset$.

$L = (A, B)$ es el libro de órdenes, siendo A el conjunto de las órdenes límite de ven-

ta y B el conjunto de las órdenes límite de compra. Cada orden se representa como una 3-tupla $O = (Id, P_{order}, s)$ donde $Id \in \mathbb{N}$ es un número que identifica al agente propietario de la orden, P_{order} es el precio límite de la orden y $s \in \{compra, venta\}$ es el tipo de orden.

$P = (P_{t_1}, P_{t_2}, \dots, P_{t_T})$ es la serie de tiempo de los precios del bien desde el inicio de la simulación al paso de tiempo t_1 hasta el final, al paso t_T .

$I = \{I_1, I_2, \dots, I_k\}$ es un conjunto de indicadores técnicos, cada uno de los cuales se caracteriza por la pareja ordenada $I_j = (\Pi_{fast}, \Pi_{slow})$ en donde Π_{fast} y Π_{slow} son medias móviles de la serie de tiempos de precio P , siendo el tamaño de ventana de la media Π_{fast} menor que el de la ventana Π_{slow} .

$N = (N_{t'_1}, N_{t'_2}, \dots, N_{t'_h})$ es un conjunto de noticias que ocurren aleatoriamente en los tiempos t'_1, t'_2, \dots, t'_h . La diferencia $t'_i - t'_j$ entre dos tiempos consecutivos sigue una distribución de Poisson con media f_{news} y cada noticia se representa como la realización de una variable aleatoria normal con media μ_{news} y desviación estándar σ_{news} .

Capítulo 8

Apéndice 3

8.1. Lista de símbolos

Cuadro 8.1

Símbolo	Descripción
P_{active}	Probabilidad con que los agentes fundamentales pasan a estar activos
p_f	Precio fundamental
χ_{market}	Umbral de regateo de los agentes fundamentales
$\chi_{opinion}$	Umbral de comportamiento de manada
$\sigma_{\Delta p_f}$	desviación estándar del cambio de precio fundamental ante noticias
λ_{limit}	Decaimiento de la distribución exponencial utilizada para extraer precios límite
ζ_t	Precio del bien al tiempo t
μ_{news}	Media de las distribución normal utilizada para extraer las noticias
σ_{news}	Desviación estándar de las noticias
f_{news}	Frecuencia media entre dos noticias consecutivas
γ	Umbral de utilidad inmediata
t_{wait}	Tiempo de espera de los agentes técnicos
P_{signal}	Precio de la última transacción causada por una señal técnica
μ_{market}	Precio medio del margen
B_{buy}	Precio de la mejor orden de compra
B_{sell}	Precio de la mejor orden de venta
P_t	Precio del bien al tiempo t

Capítulo 9

Apéndice 4

En este apéndice se presentan en tablas los hechos estilizados que se manifestaron para las diferentes combinaciones de parámetros que se utilizaron en las simulaciones. Para todas las simulaciones se utilizaron los mismos valores de los parámetros relacionados con los agentes fundamentales, los cuales se muestran en el cuadro 9.3. Se utilizan los siguientes acrónimos para identificar a los hechos estilizados:

9.1. Resultados de la comparación de poblaciones

Cuadro 9.1: Hechos estilizados presentes según la composición de la población.

Poblacion		Hechos Estilizados					
Fundamentales	Tecnicos	AA	AV	CP	EA	APG	DLV
500	0	•	×	×	×	×	•
500	350	•	•	•	×	•	•

Los valores de los parámetros asociados con los agentes técnicos que se utilizaron en la comparación de poblaciones son los siguientes:

Cuadro 9.2: Valores de los parámetros de los agentes técnicos es pasan la comparación de poblaciones.

Parámetros de los técnicos		
γ	t_{wait}	Indicador
0.01	[0,300]	(1000, 2000)

Cuadro 9.3: Valores de los parámetros de los agentes fundamentales.

Parámetros de los fundamentales								
P_{active}	p_f	χ_{market}	$\chi_{opinion}$	$\sigma_{\Delta p_f}$	λ_{limit}	μ_{news}	σ_{news}	f_{news}
0.05	[20, 25]	[0.01, 0.15]	[0.05, 0.15]	0.2	3	0	0.2	100

9.2. Resultados de la tasa técnicos/fundamentales

Cuadro 9.4: Hechos estilizados presentes según la composición de la población

Escenario	Poblacion		Hechos Estilizados						
	Fundamentales	Tecnicos	AA	AV	CP	EA	APG	DLV	
A	600	250	•	•	•	×	•	•	
B	600	750	•	•	•	×	•	•	
C	600	1250	•	•	•	×	•	•	

Cuadro 9.5: Composición de la población de agentes técnicos en los tres distintos escenarios.

Escenario	Indicadores				
	(250, 500)	(500, 1000)	(1000, 2000)	(2000, 4000)	(4000, 8000)
A	250	0	0	0	0
B	250	250	250	0	0
C	250	250	250	250	250

En los tres escenarios se utilizaron tiempos de espera $t_{wait} \in [1, 250]$ y un umbral de utilidad inmediata $\gamma = 0.01$.

Los valores de los parámetros asociados con los agentes fundamentales que se utilizaron en la exploración de los efectos de la tasa técnicos/fundamentales se muestran en el cuadro [9.3](#).

Bibliografía

- [AHL⁺96] W. Brian Arthur, John H. Holland, Blake LeBaron, Richard G. Palmer, and Paul Tayler. Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market. 1996. [35](#)
- [Bas77] S. Basu. Investment performance of common stocks in relation to their price-earnings ratios: A test of the efficient market hypothesis. *The Journal of Finance*, 32:663–682, 1977. [20](#)
- [BCM90] Ronald J Balvers, Thomas F Cosimano, and Bill McDonald. Predicting stock returns in an efficient market. *The Journal of Finance*, 45(4):1109–1128, 1990. [20](#)
- [BJP03] Kee-Hong Bae, Hasung Jang, and Kyung Suh Park. Traders choice between limit and market orders: evidence from nyse stocks. *Journal of Financial Markets*, 6:517–538, 2003. [14](#)
- [Bla76] Fischer Black. Studies in price volatility changes. *Proceedings of the 1976 Meeting of the Business and Economical Statistics Section*, 1976. [30](#)
- [BLL92] William Brock, Josef Lakonishok, and Blake LeBaron. Simple technical trading rules and the stochastic properties of stock returns. *The Journal of Finance*, 47(5):1731–1764, 1992. [40](#)
- [BP03] J. Bouchaud and M. Potters. *Theory of Financial Risk and Derivative Pricing: From Statistical Physics to Risk Management*. Cambridge University Press, 2003. [26](#)
- [CGW93] JY Campbell, SJ Grossman, and J Wang. Trading volume and serial correlations in stock returns. *The Quarterly Journal of Economics*, pages 905–939, 1993. [34](#)
- [Con01] Rama Cont. Empirical properties of asset returns: stylized facts and statistical issues. *Quantitative Finance*, 1:223–236, 2001. [27](#)

- [Con07] Rama Cont. Volatility clustering in financial markets: Empirical facts and agent-based models. In Springer, editor, *Long Memory in Economics*. 2007. [24](#)
- [Cri13] Matthieu Cristelli. *Complexity in Financial Markets: Modeling Psychological Behavior in Agent-Based Models and Order Book Models (Springer Theses)*. Springer, 2013. [22](#), [55](#)
- [CZ04] Jaksza Cvitanic and Fernando Zapatero. *Introduction to the Economics and Mathematics of Financial Markets*. The MIT Press, 2004. [10](#)
- [DG10] Paul De Grauwe. The scientific foundation of dynamic stochastic general equilibrium (dsge) models. *Public choice*, 144(3-4):413–443, 2010. [34](#)
- [DMY01] Challet D., Marsili M., and Zhang Y.C. Stylized facts of financial markets and market crashes in minority games. *Physica A*, 2001. [36](#)
- [DZC07] Ali F Darat, Maosen Zhong, and Louis T Cheng. Trading without public news: Another look at the intraday volume-volatility stock relations. *Journal of Banking and Finance*, pages 2711–2729, 2007. [34](#)
- [Emb04] Paul Embrechts. Extremes in economics and the economics of extremes. In Chapman & Hall CRC, editor, *Extreme Values in Finance, Telecommunications, and the Environment*. 2004. [32](#)
- [Fam70] Eugene Fama. Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *Journal of Finance*, 25:383–417, 1970. [19](#)
- [FF09] J Doyne Farmer and Duncan Foley. The economy needs agent-based modelling. *Nature*, 460(7256):685–686, 2009. [34](#)
- [Gim12] Victor K. Gimba. Testing the weak-form efficiency market hypothesis: Evidence from nigerian stock market. *CBN Journal of Applied Statistics*, 3:117–136, 2012. [20](#)
- [Har02] Larry Harris. *Trading and Exchanges: Market Microstructure for Practitioners*. Oxford University Press, 2002. [14](#)
- [HM09] Burkhard Heer and Alfred Maussner. *Dynamic General Equilibrium Modeling: Computational Methods and Applications*. Springer, 2009. [34](#)
- [How07] P. G. A. Howells. *Financial Markets and Institutions*. Prentice Hall/Financial Times, 2007. [7](#)
- [JT93] Narasimhan Jegadeesh and Sheridan Titman. Returns to buying winners and selling losers: Implications for stock market efficiency. *The*

- Journal of Finance*, 48(1):65–91, 1993. [20](#)
- [Kid11] David S. Kidwell. *Financial Institutions, Markets and Money*. Wiley, 2011. [10](#)
- [LCM⁺97] Yanhui Liu, Pierre Cizeau, Martin Meyer, C.K. Peng, and H.E. Stanley. Correlations in economic time series. *Physica A*, pages 437–440, 1997. [24](#)
- [Lei06] *Handbook of Computational Economics, Volume 2: Agent-Based Computational Economics*. North Holland, 2006. [34](#)
- [LGC⁺99] Yanhui Liu, Parameswaran Gopikrishnan, Pierre Cizeau, Martin Meyer, Chung-Kang Peng, and H. Eugene Stanley. Statistical properties of the volatility of price fluctuations. *Physical Review E*, 1999. [30](#)
- [LM88] Andrew W Lo and Archie Craig MacKinlay. Stock market prices do not follow random walks: Evidence from a simple specification test. *Review of financial studies*, 1(1):41–66, 1988. [20](#)
- [Mad14] Jeff Madura. *Financial Markets and Institutions*. Cengage learning, 2014. [11](#)
- [Mal03] Burton G. Malkiel. The efficient market hypothesis and its critics. *Journal of Economic Perspectives*, 17, 2003. [20](#)
- [Man63] Benoit Mandelbrot. The variation of certain speculative prices. *The Journal of Business*, pages 394–419, 1963. [26](#)
- [ME11] Frederic S. Mishkin and Stanley Eakins. *Financial Markets and Institutions (7th Edition) (The Prentice Hall Series in Finance)*. Prentice Hall, 2011. [9](#), [10](#)
- [Mis04] Frederic S. Mishkin. *The Economics of Money, Banking and Financial Markets*. Addison-Wesley, 2004. [9](#)
- [Mur99] John J. Murphy. *Technical Analysis of the Financial Markets: A Comprehensive Guide to Trading Methods and Applications (New York Institute of Finance)*. New York Institute of Finance, 1999. [17](#)
- [PAH⁺94] R.G. Palmer, W. Brian Arthur, John H. Holland, Blake LeBaron, and Paul Tyler. Artificial economic life: A simple model of a stock market. *Physica D*, 1994. [35](#)
- [PB01] Marc Potters and Jean-Philippe Bouchaud. More stylized facts of financial markets: Leverage effect and downside correlations. *Physica A*, 2001. [30](#)

- [PT95] M Hashem Pesaran and Allan Timmermann. Predictability of stock returns: Robustness and economic significance. *The Journal of Finance*, 50(4):1201–1228, 1995. [20](#)
- [RKJ76] Michael S Rozeff and William R Kinney Jr. Capital market seasonality: The case of stock returns. *Journal of Financial Economics*, 3(4):379–402, 1976. [20](#)
- [RMB97] Cont R., Potters M., and J-P Bouchaud. *Scale Invariance and Beyond (Proc. CNRS Workshop on Scale Invariance, Les Houches)*. Springer, 1997. [26](#)
- [Sam65] P.A. Samuelson. Proof that properly anticipated prices fluctuate randomly. *Industrial Management Rev.*, 6:41–45, 1965. [19](#)
- [Shi80] Robert J Shiller. Do stock prices move too much to be justified by subsequent changes in dividends? *National Bureau of Economic Research Cambridge, Mass., USA*, 1980. [20](#)
- [Shu13] Shafiai Shumi. *Excess Returns, Volatility and Momentum in the London Stock Exchange*. PhD thesis, University of Surrey, 2013. [20](#)
- [SSMG12] Thilo A. Schmitt, Rudi Schäfer, Michael C. Münnix, and Thomas Guhr. Microscopic understanding of heavy-tailed return distributions in an agent-based model. *EPL (Europhysics Letters)*, 100, 2012. [56](#)
- [TG04] Allan Timmermann and Clive W.J. Granger. Efficient market hypothesis and forecasting. *International Journal of Forecasting*, 2004. [20](#)
- [TL12] Jie-Jun Tseng and Sai-Ping Li. Quantifying colatility clustering in financial time series. *International Review of Financial Analysis*, 23:11–19, 2012. [23](#)
- [TM99] Lux T. and Marchesi M. Scaling and criticality in a stochastic multi-agent model of a financial market. *Nature*, 1999. [37](#)
- [TM00] Lux T. and Marchesi M. Volatility clustering in financial markets: A micro-simulation of interacting agents. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 2000. [37](#)
- [UM14] Andrew Urquhart and Frank McGroarty. Calendar effects, market conditions and the adaptive market hypothesis: Evidence from long-run u.s. data. *International Review of Financial Analysis*, 2014. [20](#)
- [W.94] Arthur B. W. Inductive reasoning and bounded rationality: The el farol problem. *American Economic Review*, 1994. [36](#)
- [WB92] Blake LeBaron William Brock, Josef Lakonishok. Simple technical tra-

-
- ding rules and the stochastic properties of stock returns. *Journal of Finance*, 1992. [41](#)
- [Wic12] Michael Wickens. *Macroeconomic Theory: A Dynamic General Equilibrium Approach (Second Edition)*. Princeton University Press, 2012. [34](#)