

Estimación de un modelo de negociación de futuros americanos del Standard & Poor's 500 incorporando
elementos de microestructura de los mercados financieros

Universidad Piloto de Colombia

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Financiera

Nicolas Andrés Acevedo Peláez

Bogotá

2021

**ESTIMACIÓN DE UN MODELO DE NEGOCIACIÓN DE FUTUROS AMERICANOS
DEL STANDARD & POOR'S 500 INCORPORANDO ELEMENTOS DE
MICROESTRUCTURA DE LOS MERCADOS FINANCIEROS**

Presentado por: Nicolás Andrés Acevedo Peláez

Tutor del trabajo

Docente Ing. David Ricardo Balaguera Mesa

Tabla de Contenido

1. Introducción	4
2. Justificación	5
3. Objetivo general.....	5
4. Objetivos específicos	5
5. Marco conceptual.....	6
5.1. Definición de conceptos.....	7
6. Revisión de la literatura	11
6.1. Negociación algorítmica	11
6.2. Microestructura de mercado.....	15
6.2.1. Modelos conocidos	19
7. Metodología y desarrollo	25
7.1. Caracterización del libro de órdenes.....	25
7.2. Análisis econométrico del Fair Value del contrato S&P 500 Mini.....	33
7.3. Desarrollo del algoritmo de negociación considerando el modelo de microestructura	36
7.4. Definición y características del backtesting a implementar	39
8. Resultados	41
9. Conclusiones	43
10. Recomendaciones	46
11. Bibliografía	47

Tabla de Ilustraciones

Figura 1 Libro Electrónico de órdenes.....	27
Figura 2 LOB con presencia de spread Bid- Ask.....	28
Figura 3 Incidencia del Spread Bid-Ask en el gráfico de precios.....	29
Figura 4 Fair Value Teórico vs S&P 500 Future	35
Figura 5 Diferencial entre Valor Razonable vs Cotización Real	35
Figura 6 Simulación de Fair Value	36
Figura 7 Cotización Futuro S&P 500 del 10 al 15 de enero 2021	38
Figura 8 Evolución cotizaciones simuladas	39
Figura 9 KPI's de la estrategia	40
Figura 10 Volatilidad Futuros S&P 500	41
Figura 11 Señales de ejecución Stop Loss	42
Figura 12 Retornos por operación.....	42
Figura 13 Numero de operaciones ejecutadas.....	43

1. Introducción

El presente trabajo recopila información de varios proyectos de investigación y documentación empírica sobre la dinámica de la microestructura de los mercados financieros donde algunos enfatizan en los movimientos que presentan los precios de las acciones americanas y el efecto en la volatilidad de los futuros americanos. Posteriormente se habla sobre la presencia y el impacto en el mercado provocado por el High Frequency Trade (HFT). Considerando la investigación realizada se desarrolla un modelo que use la información existente del mercado buscando visualizar la posible toma de decisiones de los traders sobre operaciones en acciones americanas.

En el desarrollo se tomaron dos tipos de datos, datos internos y datos externos, haciendo uso de los datos externos (información económica, o de mercado en general) y generar los datos internos que consisten en el volumen de ordenes intradía que afectan en la negociación y la volatilidad del subyacente para calcular el valor razonable de mercado o Fair Value de los futuros americanos.

El modelo diseñado es una herramienta para validar si la programación de estrategias de trading incorporando modelos de microestructura permiten leer el libro de órdenes y usarlo para predecir el mejor precio de compra o venta para un futuro de acuerdo con la dispersión entre oferta y demanda. El modelo es evaluado mediante un backtesting enfocado en su usabilidad para un periodo de datos establecido, lo que también será funcional como backtesting de la estrategia de negociación.

El contenido de este trabajo se distribuye en cinco secciones, la primera corresponde al estado de arte del HFT y de los modelos de microestructura incluyendo el uso y beneficios en los mercados financieros según una revisión bibliográfica disponible, en la segunda sección se presenta la justificación académica de este trabajo y los marcos referenciales que usaron en su desarrollo, ya en la tercera sección se presenta la metodología para la selección de modelos y el desarrollo de algoritmo de negociación, además de un apartado exclusivo para validar el modelo a través de backtesting, en la cuarta sección se presentan los

resultados obtenidos tanto en el algoritmo de negociación como en la validación del modelo final. La última sección concluye y se presentan recomendaciones.

2. Justificación

El estudio de los mercados financieros promueve el aporte a la producción de documentos académicos sobre la actualidad del mercado de capitales, de la naturaleza de la negociación de activos, el método de la formación de precios y cómo el avance tecnológico ha fortalecido esta rama de estudio. El aporte académico se enfoca en aportar a la literatura del mercado de capitales el desarrollo de estrategias actualmente usadas y autogestionadas por algoritmos; fortalecer el desarrollo en la creación de herramientas basadas en lenguajes de programación estadística y aplicar el análisis de datos en las finanzas desde la investigación.

Entre los motivos para desarrollar este trabajo se encuentra el interés en la programación y su uso en la automatización del análisis de los mercados, en conjunto con la exploración de la teoría de la microestructura que no suele ser discutido profundamente a pesar de hacer parte de la historia económica y financiera.

Por último, se busca dar claridad sobre el potencial tecnológico y metodológico de los modelos en el mercado financiero y aclarar algunos conceptos importantes que se presentan en la cotidianidad del trader y que hacen parte de la teoría empírica originada décadas atrás.

3. Objetivo general

Diseñar un modelo de trading algorítmico que incorpore el análisis de precios a partir de los modelos de microestructura existentes para los mercados financieros e integrarlo en una estrategia de negociación eficiente para futuros americanos.

4. Objetivos específicos

- 4.1. Definir el modelo de microestructura de los mercados financieros aplicado la estrategia de trading
- 4.2. Caracterizar el libro de órdenes a partir de las intenciones de oferta y demanda

4.3. Analizar el fair value del Standard & Poor's 500 y el efecto en la volatilidad del futuro

4.4. Evaluar la significancia del modelo a través de pruebas de backtesting

5. Marco conceptual

El marco conceptual es un intento por caracterizar todos aquellos elementos que intervienen en el proceso de investigación. A través de la revisión de publicaciones de varios autores y teorías se busca poder encontrar aquellas definiciones, conceptos y líneas para enmarcar la investigación e interpretar los resultados y las conclusiones que se alcanzan (Reidl-Martínez, 2012).

EL High Frequency Trade, negociación o comercio de alta frecuencia, considerado por la *Securities and Exchange Commission* (SEC) desde el 2010 como los “*traders profesionales que actuando bajo capacidades patentadas o de alto nivel involucran estrategias que generan una gran cantidad de transacciones diarias*” (Chordia et al., 2013)

En el documento presentado por la SEC “*Concept Release on Equity Market Structure*”, se expone las características y atributos que comúnmente distinguen las estrategias de High Frequency Trade frente a trading tradicional; entre las más relevantes y que nos concierne para la presente investigación se encuentran: **1.** el uso de programas informáticos extraordinariamente rápidos y sofisticados para generar, enrutar y ejecutar órdenes; **2.** uso de servicios de uso compartido e individual fuentes de datos ofrecidas por los intercambios y otros para minimizar la red y otros tipos de latencias; **3.** plazos muy cortos para establecer y liquidar posiciones; **4.** la presentación de numerosos pedidos que se cancelan poco después del envío; y **5.** finalizando el día de negociación en lo más cerca posible de una posición plana (es decir, no llevar posiciones significativas sin cobertura durante la noche) (SECURITIES AND EXCHANGE COMMISSION, 2010).

Por otra parte, en 2012 el *Commodity Futures Trading Commission* - CFTC (Comité Asesor de Tecnología de la Comisión de Comercio de Futuros de Productos Básicos de EE. UU.) lanzó un borrador de definición de comercio de alta frecuencia en el cual deliberadamente deja fuera el período tenencia y la frecuencia de rotación de la cartera como atributos en el HFT. En cambio, clasifica comercio de alta frecuencia como una ***“forma de comercio automatizado que emplea algoritmos para la decisión, elaboración, inicio de órdenes, generación, enrutamiento o ejecución y para cada transacción individual sin dirección humana”***, y eso satisface varios criterios, como el uso de baja latencia tecnológica, conexiones de alta velocidad a los mercados para la entrada de pedidos y altas tasas de transacciones de pedidos y cancelaciones (Chordia et al., 2013).

5.1. Definición de conceptos

Latencia

El concepto de latencia se puede definir como el tiempo de procesamiento de una orden. Por tanto, es el tiempo que transcurre desde que un inversor presenta una orden al mercado, éste procesa la información, y el inversor recibe una respuesta del mercado sobre la orden que ha enviado.

Gracias a la innovación tecnológica y a la implantación de los mercados electrónicos de negociación, la latencia ha ido disminuyendo de manera sustancial en la última década, hasta el punto de que en un primer momento se medía en minutos y actualmente se mide en milisegundos (milésima parte de un segundo) o en microsegundos (millonésima parte de un segundo) (Úrsula & Palou, 2015, p. 2)

Tipos de orden

Hay dos tipos principales de órdenes: órdenes de mercado y órdenes limitadas. En la ordenes de mercado el precio no se especifica y estas órdenes se ejecutan de la mejor manera precio disponible a la hora de llegada del pedido (es decir, un pedido de oferta / demanda se completa en el mejor precio actual).

Las órdenes de compra y venta limitadas se usan en el mercado con sus precios de oferta y demanda respectivamente puestos por el comerciante, con la esperanza de que éste llegue a esos niveles. Los precios de límite en los pedidos a veces se denominan precios de reserva (Schmidt, 2011).

Tipo de mercado

“El Mercado de Valores, en sentido amplio, es el conjunto de mecanismos que permiten realizar la emisión, colocación y distribución de valores, que sean objeto de oferta pública o de intermediación. Como todo mercado existe un componente de oferta y otro de demanda. En este caso la oferta está representada por los fondos disponibles para inversiones en valores, procedentes de personas físicas o jurídicas, que constituyen el objeto de intercambio en el mercado de valores. Los demandantes de estos recursos, tanto el sector público como el privado, utilizan los valores con objeto de poder obtener los fondos que ofrecen para el financiamiento de sus necesidades. Los “valores negociables” son ofrecidos en forma general y no personalizada” (Ricardo & Hegab, 2017, pp. 2–3).

Spread Bid Ask – Horquilla de precios

Las Horquilla de precios es un indicador del costo de liquidez del costo de la transacción y de la liquidez con la que cuenta el mercado. De manera alternativa, la liquidez puede ser medida por el tiempo transcurrido entre el envío de la orden de compra o venta y el momento en que se realiza el intercambio o calce de operación.

Tomando como referencia el estudio elaborado por Demsetz (1968), la formación de la horquilla de precios depende de un momento temporal en el que se involucran 4 tipos de agentes, dos en calidad de comprador y dos en calidad de vendedor. Por el lado de la oferta existe el agente que desea vender una cantidad del activo de forma inmediata en el mercado y aquellos que están dispuestos a esperar un mejor precio para vender una cantidad del activo. Lo mismo ocurre en el lado de la demanda, donde existe un comprador que

desea adquirir una cantidad de activo de forma inmediata y aquel que está dispuesto a esperar para adquirir el activo a un mejor precio.

Por lo anterior, la horquilla de precios o spread bid – ask se forma cuando para determinada cantidad del activo existe un comprador dispuesto a esperar un menor precio para realizar su operación y un vendedor dispuesto a esperar un mayor precio para realizar su operación, por lo que los demás agentes que requieren inmediatez en su operación incurren en un costo (representado en este trabajo como un incremento o decremento del precio sobre su Fair Value), para entrar en el mercado.

Costo de operación o costo de operación

Se entiende como costo de operación, basado en la propuesta de (Williamson, 1979) el costo de operación o costo de transacción es el equivalente en el mercado de capitales a la “fricción” en la física y el estudio de fenómenos y eventos. El costo de transacción partiendo de las imperfecciones en los sistemas de intercambio genera un costo asociado a la creación de precios, y se relaciona a su vez con el ingreso percibido por el intermediario en la formación del mercado.

El costo de operación no es la comisión que se paga por realizar una operación en una plataforma de negociación y en los últimos años se ha venido desarrollado una gran importancia en la toma de decisiones debido al cambio tecnológico que están sufriendo los sistemas de negociación.

Market Makers

Como su nombre lo indica, son creadores de operaciones en el mercado con el fin de mantener liquidez en el mismo, tiene la responsabilidad de poner continuamente operaciones de compra para los agentes que desean vender y operaciones de venta para los agentes que desean comprar. El creador de mercado incurre en una serie de riesgos implícitos propios de la actividad de creación por lo que obtienen un beneficio por

su labor de creador a través de la opción de poner precios de por encima o por debajo esperando que los participantes del mercado pongan sus operaciones para calce.

Dealers

Operan como agentes individuales especialistas con el objetivo de obtener beneficios en operaciones de compra y venta, existen operadores con mayor o menor información, por lo que las posiciones que toman en el mercado resultan una desventaja para los creadores de mercado. Sin embargo, dado que operan constantemente en el mercado actúan también creadores sin la obligación de hacerlo, considerando que es un mercado híbrido donde las cotizaciones se dan por precios de los creadores y por órdenes límite y de mercado que otros agentes acumulan en el Libro de Órdenes (LOB).

Brokers

Son un intermediario para que los inversionistas pequeños accedan al mercado proveyendo de plataformas para la puesta de órdenes, los brokers pueden ofrecer solo un servicio de plataforma de negociación con cobro sobre los precios que ponen los inversionistas pequeños, otro papel es el de agrupar gran número de operaciones que impactan la liquidez del mercado.

Arbitraje estadístico

Rinaldo (2014) define el arbitraje como la compra y venta simultánea de activos en dos mercados diferentes. (Cardoso, 2015)) explica el arbitraje como la posibilidad de obtener un beneficio seguro sin riesgo debido a la inadecuada valoración de los activos, considerándolo uno de los principales pilares de las finanzas.

El arbitraje se puede dividir en dos tipos: arbitraje puro (determinista) y arbitraje estadístico (relativo). Por tanto, el arbitraje estadístico se refiere a las estrategias que emplean algún modelo estadístico o método para aprovechar las desviaciones de los precios entre los activos, manteniendo un nivel de neutralidad a mercado.

Fair Value

En la inversión, se refiere al precio de venta de un activo acordado por un comprador y vendedor dispuestos, suponiendo que ambas partes estén informadas y participen libremente en la transacción. Por ejemplo, los valores tienen un valor razonable que está determinado por un mercado donde se negocian.

En el mercado de futuros, el valor razonable es el precio de equilibrio para un contrato de futuros, es decir, el punto donde la oferta de bienes coincide con la demanda. Esto es igual al precio spot después de tener en cuenta el interés compuesto (y los dividendos perdidos porque el inversor posee el contrato de futuros en lugar de las acciones físicas) durante un cierto período de tiempo (Investopedia, 2019).

Ticks

Es el cambio de precio mínimo en un contrato de futuros u opciones se mide en ticks. Un tick es la cantidad más pequeña de fluctuación que puede darse en el precio de un contrato particular y el tamaño del tick varía de un contrato a otro, principalmente conocidos en la negociación electrónica para medir de mejor forma el cambio entre precios. (Dayri & Rosenbaum, 2015, pp. 3–4)

6. Revisión de la literatura

6.1. Negociación algorítmica

El constante avance tecnológico se ha manifestado en los mercados financieros, y no solo desde el punto de vista del inversionista de alto riesgo, el cual busca aprovechar los rendimientos de los activos tecnológicos como criptomonedas o de la capitalización de empresas que implementan soluciones de software y realizan nuevos desarrollos con las llamadas tecnologías disruptivas. Hoy en día se habla desde la incorporación de las tecnologías a entorno de negociación de activos de capital en el mercado tradicional bajo sistemas de negociación autónomos o con muy poca intervención humana, y su recepción

por los traders respecto al avance que ha generado en últimos años ha impactado positivamente el tamaño, la profundidad y la liquidez en los mercados. (Tapia, 2014).

Estos desarrollos se ven principalmente en la infraestructura tecnológica de los inversionistas institucionales, a los cuales se les brinda un valor adicional para la negociación de activos y el alto volumen de órdenes que se generan; también son desarrollos de las Infraestructuras de Mercados Financieros (IMF).

Por definición del Banco Internacional de pagos (2014) “las IMF son arreglos multilaterales entre instituciones participantes, incluyendo a los operadores del sistema, utilizados para los propósitos de compensación, liquidación o registro de pagos, valores, derivados y otras transacciones financieras.”

“Estas regularmente establecen un conjunto de reglas y procedimientos comunes, una infraestructura tecnológica y un marco de administración de riesgos especializado e idóneo. Las IMF se conforman de los sistemas de pagos, de los depósitos centrales de valores, de los sistemas de liquidación de operaciones con valores, de las contrapartes centrales y de los repositorios de operaciones y de las bolsas de valores.” (Banco de México, 2007; Banco Internacional de Pagos, 2014, p. 205)

El comercio algorítmico, mediante el cual los inversionistas hacen uso de equipos informáticos previamente programados para negociar activos financieros en intervalos cortos de tiempo no es solo una actividad desarrollada por traders experimentados, más bien se han transformado en una cultura de mercado que va desde contratar un servicios de bróker donde se incluyan algoritmos para la negociación o incursionar en el mercado como pequeño inversionista y experimentar en el desarrollo propio de estrategias automatizadas.

Dada la particularidad de los tipos de inversionistas, de su tamaño y de sus intenciones al participar en el mercado de instrumentos financieros se presenta en la teoría actual los tipos de traders de acuerdo con

Harris (2002), se menciona que estos pueden ser agrupados en dos grandes categorías. La primera de ellas hace referencia a los traders impulsados por ganancias (Profit-motivated Traders), es decir aquellos que hacen uso del análisis técnico y de las irregularidades en el negociación para sacar un provecho en dinero; la segunda categoría son los traders de liquidez (Liquidity Traders) cuyo objetivo es realmente mantener el valor de sus flujos de caja y realizar operaciones de cobertura usando un análisis fundamental e información económica y el impacto que esperado sobre el instrumento que se encuentren negociando (Harris, 2002).

Por su parte, los profit-motivated traders se agrupan de acuerdo con sus estrategias de inversión y de lectura de información de mercado. lo anterior se presenta en tres tipos los traders descritos en la Tabla 1 (Schmidt, 2011).

Tabla 1 Tipos de traders motivados por ganancias

TIPO	DESCRIPCIÓN
Traders informados (Informed Traders)	Sus decisiones de inversión son fundamentales a partir de la información económica y de las corporaciones, y sobre el valor fundamental de los activos; también son nombrados como Value Investors (Graham & Dodd, 2007).
Traders técnicos (Technical Traders)	La información necesaria para la negociación la encuentran en incorporada en el movimiento de precios de los activos, y usan múltiples parámetros con datos históricos de mercado para predecir el comportamiento futuro de los precios
Dealers o Makets Makers	Los creadores de mercado proporcionan liquidez al mercado al poner órdenes en ambas puntas

	(compra y venta) y generan ganancias a través del spread Bid/Ask (Schmidt, 2011).
--	-----------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Book Financial Markets and Traders, Pág. 4-5 (Schmidt, 2011)

Aunque se manifiestan determinadas diferencias entre las estrategias usadas por los tipos de traders, como se mencionaron anteriormente, todos concluyen en que componen la oferta y la demanda del mercado, así mismo influyen en la estructuración de precios, como hace mención Mankiw (1997) “Un grupo de compradores y vendedores de un determinado bien o servicio determinan conjuntamente la demanda del producto; los vendedores, la oferta. Por tanto, en el mercado de capitales hace referencia a las negociaciones en las que, al activo, entre compradores y vendedores, se le determina un precio” (Mankiw, 1997).

Al considerar el avance de la tecnología como un aspecto importante en la maduración de los mercados financieros y en cómo los diferentes tipos de agentes lo aplican en un rol; de esto se debe distinguir que entre los tipos traders que utilizan los ordenadores para introducir sus órdenes con básicamente dos implementaciones tecnológicas que existen: Algo Traders (AT) y High Frequency Traders (HFT).

El AT, consiste en el desarrollo e implementación de algoritmos que registran órdenes para un instrumento financiero basándose en el comportamiento histórico de dicho instrumento y esperando el momento oportuno para cerrar cada posición, mientras tanto el HFT y de acuerdo con la Commodity Future Trading Commission, se realiza esta misma operación sin embargo para ser considerado como HFT se requiere de emplear tecnología de baja latencia, contar con una conexión al mercado para la introducción de órdenes a mayor velocidad y además de realizar el envío y cancelación de órdenes con una tasa más alta en comparación con otros sistemas tradicionales o AT, esta definición concuerda con Vuoremaa (2013), quien define a los HFT como un subconjunto de los AT de modo que todos los HFT son AT pero no aplica en sentido contrario.

En términos prácticos, la negociación algorítmica tendría efectos positivos y negativos dentro del mercado, y por su importancia sistémica los efectos negativos son los que han atraído la atención de los organismos reguladores. Aunque con numerosas limitaciones, desde el sector académica se ha realizado estudios para analizar si los efectos de los AT y del HFT son positivos o negativos para la calidad y la eficiencia de los mercados. En general, los resultados de diferentes trabajos muestran como la presencia de estos sistemas se provocan episodios de aumento de la volatilidad, pero también reduce el coste de liquidez (spread bid - ask) y mejora la eficiencia de los precios. A la vista de los hechos y las investigaciones realizadas, lo más razonable es trabajar para mitigar los posibles efectos negativos de esta operativa y favorecer aquellos eventos en los que sin duda alguna los efectos son positivos.

En conclusión, los diferentes tipos de traders variarán de acuerdo con su objetivo de negociación, las estrategias que implementen y a la información y herramientas tecnológicas que usen para el desarrollo de su estrategia. Otro detalle, es que al considerar que los sistemas de negociación algorítmica aportan positivamente al desarrollo de los mercados durante su negociación diaria y retornan beneficios económicos a muy corto plazo a los inversionistas, mencionar las estrategias usadas por estos agentes es complejo dada su extensión y variación de datos y parámetros por lo que en este capítulo se presenta como una definición clave de la negociación algorítmica sin profundizar en su desarrollo.

6.2. Microestructura de mercado

La microestructura de los mercados surge de la necesidad de establecer un conocimiento de la formación de precios en el mercado financiero Walras (1874), de aquí es posible inferir que la estructura de un mercado está establecida por una parte compradora (demanda), una parte vendedora (oferta) y un intermediario que facilita la negociación de bienes o servicios. La microestructura define entonces los sentimientos, estímulos

y beneficios que un comprador, un vendedor o un intermediario tiene para tomar un rol como agente en el mercado financiero.

El mercado financiero facilita la entrega de liquidez en las economías, y es un formador de ahorro e inversión para el crecimiento económico, por lo que es relevante conocer en qué puntos se forman los precios a los cuales se negocia determinado título, bajo la corriente mundial de que un título con mayor liquidez provee de mayor rendimiento, pero así mismo el costo de adquisición del título y el riesgo puede incrementarse.

Una de las funciones del mercado, es la formación de precios estables para los activos que se negocian, pero la estabilidad no es constancia del precio a través del tiempo, sino un concepto de existencia de precio de equilibrio entre un comprador y un vendedor. Esta actividad es sumamente importante, ya que los agentes económicos toman estos precios para hacer un análisis y posteriormente tomar decisiones de inversión.

Tradicionalmente, el modelo económico clásico establecía su enfoque en que el precio de equilibrio era aquel que igualaba la oferta y la demanda de un bien (Birbuet, 2015). Sin embargo, estudios posteriores determinaron que estos modelos no tenían en cuenta factores propios de cada corriente de mercado y se aislaban a supuestos restrictivos de la realidad del mercado, a los procesos de negociación adversos a la negociación, y al costo en que incurría un comprador o vendedor por realizar una transacción, en términos de perder valor en el precio a que se completa una operación.

El proceso de negociación está compuesto por los intereses de los inversionistas bajo el esquema de “compra barato – vende caro” y sobre el precio neto de los activos el cual ya incluirá el costo de realizar cualquier operación; debido a esto existen teorías donde se explica que la dinámica de precios posee implícitamente información relevante del mercado, que ya contiene el efecto del trader técnico y del trader informado; estas teorías se plantean en un concepto conocido como microestructura de mercado (Francisco et al., 2010).

Dentro de los temas de estudios se encuentran los costos por proveer servicios, el efecto de la configuración de transacciones y el impacto en el comportamiento de precios en el corto plazo o intradía, los costos de transacción en el spread Bid/Ask y las comisiones de intermediación, entre otros (Birbuet, 2015).

Según Azañero (2009) la teoría de la microestructura de mercados surge como opción frente a la creciente y oportuna información detallada que se tiene relativa a las operaciones de mercado: precios, órdenes de compra, órdenes de venta y otras informaciones que permitan estudios empíricos con mayor profundidad (Azañero, 2009, pp. 76–77).

En una parte importante de la literatura de (Mann & O’Hara, 1996), se menciona que una de las primeras teorías y aplicaciones para la determinación de precios fue realizada por Walras (1874), este modelo se conoce como teoría de equilibrio general o modelo Walrasiano consiste en un subastador que actúa como intermediario de las operaciones de compra y venta de un activo, un agente subastador no toma parte de las transacciones, se encarga de recibir las intenciones de compra y las intenciones de venta y sin costo alguno une las puntas que concuerdan. Por lo anterior, el agente no incurre en ningún costo por realizar su operación y se considera como un modelo lineal, ya que las operaciones no son derivadas de otras operaciones sino de las incógnitas que se resuelven en la medida que el subastador va encontrando la punta que iguala la ecuación (Diaz, 2003).

Dada esta intención de estudiar un proceso de formación de precios de mayor complicación surge toda una literatura de la microestructura del mercado, el cual es un término mencionado por primera vez en un artículo publicado por (Garman, 1976)¹. La importancia del objeto de la microestructura en definir la formación de precios es reciente en comparación con la teoría económica, y la dificultad que presenta este

¹ Mark B. Garman, pública en el año 1976 *The Journal Of Finance Economics*, el artículo “*Market Microstructure*”, en el cual presenta una comparación de las actividades de negociación entre agentes a partir de dos modelos de negociación, patrones estocásticos en los mercados y las implicaciones en la creación de mercado.

campo se debió a la falta de mecanismos y herramientas para resolver los problemas típicos del mercado y en especial los que representa éste área de estudio, cobra relevancia la anterior afirmación expuesta por Brusco (1997) sobre el retraso de la investigación que hoy mantiene un amplio interés.

Los estudios posteriores se enfatizaron en dos etapas, la primera consiste en la definición de la formación de precios y la fricción eventual en este proceso. En particular se realiza un análisis de las desviaciones que se producen en el precio de equilibrio y en la representación que tienen distintas fuentes de fricción, también involucra el proceso de convergencia de precios a su valor de información completa, al considerar que existen agentes informados, agentes no informados y agentes técnicos que transmiten sus sensaciones a los precios de los activos.

La teoría de la fricción de precios busca responder a la pregunta de si los precios reflejan toda la información disponible en el mercado tanto pública y privada, o solo un subconjunto de dicha información se ve reflejado en el precio final de la operación (Fama, 1970). La identificación de distintas fuentes de fricción se realiza por una parte a través de los costes asociados a la función de creación de mercado, explica (Fama, 1970).

Abad Diaz (2003) presenta que el primero de los costes que generan fricción en la formación de precios en el mantenimiento de posiciones abiertas en el mercado por parte de los creadores de mercado. Esta actividad ofrece liquidez en el mercado y garantiza la intermediación en las operaciones.

Es aquí donde nace el planteamiento de Demsetz, si en un mercado son escasos los compradores o los vendedores o si no se presenta sincronización en sus operaciones es necesaria la presencia de un operador que ofrezca inmediatez y cuya labor es retribuida. La retribución se concreta con un menor spread bid – ask, es decir cobrando un menor precio a los que quieren vender (precio bid) y un mayor precio a los que quieren comprar (precio ask). Los costes generados en la horquilla de precios son considerados costes de procesamiento, de esta forma un agente puede validar la profundidad del mercado y decidir el momento

oportuno para realizar una operación. Al estudiar la horquilla de precios en la microestructura resulta que la información que trasmite a la formación de precios es un resumen de las intenciones de múltiples participantes.

A través de estudios empíricos de algunos trabajos relacionados se presentan que las órdenes de mercados que forman la horquilla pueden explicar en el 40% y 80% de la variación diaria del precio de un activo (Evans & Lyons, 2002)), y la probabilidad de exactitud de la respuesta depende del volumen negociado y del activo sobre el cual se estén generando las órdenes (Oberlechner & Osler, 2008; Taylor & Sager, 2008)

Desde este punto resulta importante entender cómo esta teoría afecta los mercados tradicionales y de cómo la implementación tecnológica ha creado una tendencia de nuevos traders que aprovechan la información generada en la microestructura del mercado. No basta el contar con datos en tiempo real, ahora una parte de las decisiones y estrategias han sido sustituidas por algoritmos y programas de alta complejidad como en el caso de la negociación de alta frecuencia y que, desde su implementación, hace poco menos de una década, ha ganado tanto adeptos como detractores.

6.2.1. Modelos conocidos

En la actualidad, la aceptación de los modelos de microestructura genera un mayor interés en los participantes de los mercados financieros, principalmente por el avance tecnológico que facilitó su implementación. En este apartado, revisaremos los fundamentos teóricos de los modelos más conocidos y que han evolucionado para ser más convincentes en la academia.

Previamente se habló del modelo propuesto por (Walras, 1874), y de su trascendental cambio al sistema actual de negociación descrito en las propuestas de (Garman, 1976) obre el cual se basan la mayor parte de los sistemas de mercado actual, como el Nasdaq en el mercado americano o las bolsas latinoamericanas.

Todos estos sistemas se apoyaron en las teorías de fricción de precios como la presentada por Fama y del costo de inmediatez de Demsetz. Sin embargo, la selección de un modelo de microestructura aplicable a una estrategia de negociación como es nuestro caso depende de diversos factores como la información disponible, periodos de datos y fuentes de información confiables. En este caso, la información se construyó mediante fuentes de datos de precios y simuladores de estrategias disponibles en la red y el modelo de aplicó considerando una serie de supuestos para las diferentes fases que conforman la teoría de fricción de precios en la microestructura de mercado.

Son tres fases explícitamente, las cuales cuentan con modelos empíricos independientes de su aplicación (Díaz, 2003). no presenta las fases como: i) Fase de coste de operación o transacción, mencionado anteriormente, ii) Fase de coste de inventario, la cual surge de las intenciones de obtención de beneficios por parte de los creados de mercado; y por último la iii) Fase de asimetría de información, un concepto central y muy importante cuando se trata de explicar el comportamiento de precios en activos financieros en el corto plazo.

Se conoció la propuesta de Demsetz, y algunos trabajos se enfocaron en explicar de forma empírica una variable que frenara los precios y redujera la horquilla Bid – Ask. Esto, con el fin de financiar la inmediatez de ofertas y demandas sobre todo la mano de obra, tecnología, entre otros costos asumidos por los operadores. Para el desarrollo de esta investigación se toma como supuesto al modelo que en los momentos de tiempo donde el Spread Bid – Ask es menor, existe un mayor volumen de órdenes por parte de compradores y vendedores, simulando además que un mayor número de órdenes en el mercado indica mayor profundidad (medida por el volumen de cada orden), lo tiende a llevar el precio de activo a su equilibrio estadístico.

La segunda fase, de costo por inventario, también incluye un concepto de aversión al riesgo del creador de mercado en su actividad de oferta de inmediatez y liquidez. Este tipo de agentes al mantenerse como contraparte en precios y cantidades determinadas le supone actividad en la que teóricamente el inventario o portafolio disponible queda expuesto a variaciones estocásticas que lo aleja del nivel de portafolio deseado en calidad de inversionista. El creador busca entonces ser compensado por el desequilibrio en su portafolio y lo busca reduciendo nuevamente la horquilla de precios. En este punto identificamos algunos problemas de la fase, primero la existencia de varios agentes creadores de mercados limite la reducción de la horquilla dada la inyección de un mayor número de órdenes en el mercado y adicionalmente la existencia de normativas y conductas éticas aplicadas no permiten una postura de mayor agresividad consideradas como alteración de precios.

En el modelo, el creador busca ser compensado por esta desviación en su inventario de activos por lo cual también afectará con un menor *Spread*, y en conclusión y como algunos autores recogen en sus investigaciones el nivel de afectación será sujeto a los niveles de aversión al riesgo, y contextos coyunturales del momento de revisión (Mann & O'Hara, 1996).

La segunda falla en la actualidad al aplicar un modelo de inventario consiste en la creación de productos financieros estructurados para garantizar disponibilidad de activos. Por ejemplo, las denominadas operaciones de liquidez donde títulos son transferidos para operar hoy a cambio de regresarlos a su dueño inicial más un interés o monto previamente pactado. Estos mecanismos son muy conocidos actualmente, sin entrar aún en los productos aplicados en derivados que amplían mucho más la generación de operaciones apalancadas. En este caso, uno de los supuestos a tener en cuenta es que los creadores de mercado no poseen problemas de inventario, y aplican mecanismos para obtener títulos disponibles y no afectar las órdenes puestas en los sistemas de negociación.

Por último, la fase de asimetría de información existe bajo la determinante de que un mercado con agentes informados y no informados desvía los precios de un activo negociado incluso si no se presentaran las fases de costo de operaciones o de costo por inventario. Es el trabajo desarrollado por (Copeland & Galai, 1983) presenta una de las primeras aproximaciones a la estimación de una Spread Bid – Ask cuando se negocia con agentes a niveles tipos de información. Un agente informado, realiza sus operaciones de compra al precio Ask que le ofrece el creador, o sus operaciones de venta al precio Bid. En cualquier caso, el agente posee información del activo que hará que el costo de la operación valga la pena. En el momento es que es revelada la información o el precio de activo se ve afectada por esta el agente consigue beneficios a expensas de la actividad del creador de mercado.

Como medida de protección, el creador de mercado fija unos niveles de precios sobre los cuales opera con diferentes agentes, con el fin de obtener beneficios de agentes no informados y reducir las pérdidas producidas por operar con agentes informados. En este caso y para aplicarlo a la investigación, la fase de asimetría de información no supone que aquellas ordenes que son calzadas a precios límites de la horquilla de precios (*máximo precio Bid o mínimo precio Ask*) sean órdenes puestas por un agente informado, y que aquellas ordenes que están fuera o dentro del de la horquilla de precios son órdenes de agentes no informados que no tienen en cuenta la formación de un spread. El estudio de la asimetría de información es uno de los pilares esenciales en la literatura de microestructura de mercado.

A esta fase también se le conoce como selección adversa, concepto presentado en trabajos como el de (Glosten & Milgrom, 1985), este trabajo propone uno de los primeros modelos conocidos basados en una estructura de negociación secuencial para caracterizar la existencia de una horquilla de precios. En estos modelos se analizan la relación entre la negociación del libro de órdenes y las cotizaciones de creador de mercado para estimar el proceso de convergencia del precio. La convergencia supone que el precio será cambiante de acuerdo con los parámetros de información que posee el mercado y bajo el precio de equilibrio existirán entonces nuevas órdenes dinamizando la negociación hasta un punto de nueva información. Para

estimar el proceso de convergencia los creados revisan sus cotizaciones en el mercado de acuerdo con la información extraída del libro de órdenes mediante un proceso de aprendizaje usando la regla de Bayes. Aunque esos modelos han logrado llegar a la convergencia de precios a niveles de información se limitan en cuanto a no saber la velocidad en la que lo hacen. Una ampliación para introducir los eventos de tamaño de transacción que afecta la convergencia, posible existente de ordenes contingentes y tiempo entre negociaciones fue propuesto por (Easley et al., 1992).

Desde otro punto de vista, los modelos que analizan la fase de selección adversa o asimetría de información usan supuestos de equilibrio racional. En contexto lo que busca es caracterizar el comportamiento estratégico de los agentes con un problema en común en que todos los individuos basan sus decisiones en la información que son capaces de inferir frente a los demás participantes usando algunas estadísticas del mercado o de la economía. El primer estudio de este tipo es el modelo de determinación de precios propuesto por (Kyle, 1985), el autor supone la no existencia de competencia perfecta y la presencia de un agente informado que actúa estratégicamente antes de los demás participantes. Es el modelo el creador de mercado determina el precio que limpia el libro de órdenes y que refleja la información contenida en el mismo.

El trabajo de Kyle dio la base para un gran número de estudios teóricos que han modificado los supuestos del modelo inicial. En el trabajo de (Subrahmanyam, 1991), se introduce el concepto de aversión al riesgo, los autores (Holden & Subrahmanyam, 1992) y (Foster & Viswanathan, 1990) amplían el modelo al permitir que varios agentes informados compiten entre sí; (Admati & Pfleiderer, 1998) introducen la posibilidad de que agentes no informados actúen estratégicamente, la negociación no independiente entre subastas y las señales informativas precederán al mercado.

Posteriormente Kyle (1989) dan una ampliación a su modelo inicial al permitir la introducción de ordenes límite. (Caballé & Krishnan, 1994) estudian el caso de negociación de varios activos; se introducen la negociación continuada aplicada en algunos activos como las divisas. (Rochet & Stole, 1994) plantean el caso del agente informado con conocimiento sobre la orden de agentes no informados aplicado ejemplo a

la actividad de los intermediarios de negociación de valores en bolsa. (Krishna & Paul, 1993) avanza en la combinación de los modelos de (Kyle, 1985) con el propuesto por (Glosten & Milgrom, 1985), para llevar el primero a involucrar cotizaciones bid y ask. (Tapia, 1999) y (Calcagno & Lovo, 2006) introducen la posibilidad de un creador de mercado informado, siendo este la aproximación teórica a la actividad corredora en Colombia.

Los modelos resultantes del “Estilo Kyle”, así llamado por algunos de los autores predecesores, se basan en la teoría de juegos, estos dependiendo de los supuestos introducidos, llegan o no a una solución de equilibrio, el precio resultante convergerá entonces a su valor pleno de información con un rezago temporal al igual que los modelos de negociación secuencial (*donde se aplica fuertemente el concepto de Spread Bid – Ask*) y donde este ajuste no se produce de forma instantánea.

En un análisis para entender el proceso de ajuste los autores requieren entender cómo los diferentes agentes y participantes del mercado consiguen y aprenden de la información disponible, lo que a su vez infiere en el proceso de análisis de la generación de información resultante de la negociación del mismo activo subyacente. Este supuesto, asociado al de asimetría de información entre agentes da origen a otra rama de la microestructura del mercado con trabajos como el de (Brown & Jennings, 1989) y (Grundy & McNichols, 1989) que analizan el contenido informativo de las secuencias de precios y el seguimiento al proceso de ajuste de precios. Otros trabajos involucran el volumen de negociación como papel fundamental en la generación de información (Wang, 1994), y (Blume et al., 1994). Mientras el trabajo que recopila la mayoría de los supuestos es el de (Easley et al., 1992), donde se encargan analizar el papel de jugado por tiempo.

Como adición a los modelos mencionados, la existencia de órdenes mercado u ordenes limite se pueden tomar dos fines en este trabajo. Lo primero será identificar el volumen de operaciones realizadas por cada tipo de orden y estimar la precia de asimetría de información en el mercado, la cual afecta las intenciones de los agentes en el mercado de futuros americanos. Lo segundo será tomarlos con un estimador del libro de órdenes, estableciendo a manera de ejemplo que para un periodo de 5 minutos los precios máximos y

mínimos que se ven reflejados en su mayoría por órdenes limite, por lo tanto, existen un número de precios dentro de este rango que aportan a la formación del libro de órdenes. Esto se detalla en el capítulo 7.

7. Metodología y desarrollo

Para establecer la mejor metodología para el algoritmo de simulación de precios en el libro de órdenes primero se requiere conocer cuáles son las tendencias más comunes de los traders para registrar sus órdenes si se basan en el comportamiento mismo del mercado y dejan de lado el análisis fundamental o si existe una combinación de estrategias basadas en múltiple información para realizar una operación en el mercado, para comprender esto de forma clara se realiza una caracterización del libro de órdenes para negociación contratos de futuros sobre acciones americanas.

7.1. Caracterización del libro de órdenes

Como apertura, la definición de estrategias de trading generalmente usadas en la negociación algorítmica y mayormente en el high frequency trade fueron resumidas por (Schmidt, 2011) de la siguiente forma: i. Poner en el mercado la intención de grandes pedidos y fragmentarlos para hacer más operaciones y volumen de mercado, ii. Arbitraje estadístico para obtener un mejor precio en el mercado, ii. Crear mercado para obtener descuento por diferencial de precios, al conocer el mejor precio Bid / Ask, se puede obtener la devolución en precios por proveer órdenes al mercado, y iv. Contemplar la combinación de las anteriores cuando se presenta selección adversa del portafolio, dependiendo de la pérdida esperada para cada tipo de agente.

Un libro de órdenes está conformado por una serie de elementos entre los cuales se pueden destacar:

1. Órdenes de compra o Bid (Oferta). Esta es una sección del libro de órdenes donde podemos encontrar todas las órdenes de compra realizadas por los traders. En ella se representan el valor de la orden dada por los compradores, a precios límites, y ordenadas desde la más costosa a la de menor precio.

2. Órdenes de venta o Ask (Demanda). En esta sección nos encontramos con las órdenes de venta realizadas por los traders. Estas se encuentran organizadas desde las de menor valor a la de mayor precio.
3. Historial de pedidos. Este historial de pedidos hace referencia a los pedidos de compra - venta que hemos realizado en la plataforma.

Estos tres elementos son los que forman la parte más importante o primordial del libro de órdenes. Pero adicional a estos, también podemos encontrar con los siguientes elementos complementarios:

1. **Spread:** El spread hace referencia a la diferencia que se crea entre el precio del mayor deseo de compra y el del menor deseo de venta.
2. **Cantidad:** Este es otro dato que se puede ver en las plataformas de negociación. El mismo refleja la cantidad total de títulos en compra o venta que están dentro del libro de órdenes, e incluso en un determinado precio.
3. **Precio:** Este dato representa el costo por el que está cargada la orden, donde pueden coincidir pocos o muchos en la fijación de precio.
4. **Suma:** Este es un elemento de los libros de órdenes que se encarga de hacer ver al trader la acumulación de pedidos que existen en un precio determinado.

Los libros de órdenes pueden brindar información de gran relevancia a los traders. En primer lugar, un libro de órdenes ayuda a conocer la presión de la oferta frente a la presión de la demanda sobre activo negociable. Esto permite observar si hay mucha gente queriendo comprar o vender a un precio determinado. Con esta información, un trader puede ajustar su estrategia de compra y venta en un nivel que le permita obtener beneficios.

Adicionalmente, los libros de órdenes ayudan a mantener un alto nivel de transparencia en el mercado. Esto gracias a que proporcionan información relevante sobre el precio, la disponibilidad, la profundidad y quién

inicia las transacciones. Aunque este último punto puede ser saltado por los usuarios anónimos o inversionistas minoristas, algo que puede ser especialmente influyente en el mercado. Entre las principales características de un libro de órdenes podemos mencionar:

1. Ofrece una rápida visualización de los precios de mercado tanto en compra como en venta. Permite conocer la liquidez y profundidad de un mercado, observando la cantidad y volumen de órdenes de compra / ventas, así su frecuencia de actualización.
2. Es una herramienta que permite visualizar de forma organizada el flujo de ventas y compras
3. Ofrece una rápida visualización de los precios de mercado tanto en compra como en venta. De esa manera, el trader tiene a su disposición información para dar el mejor valor en la operación que desee realizar.
4. Permite detectar resistencias observando grandes cantidades de compra o venta en un determinado precio, generando una diferencia notable con el resto de los precios.

	3897.50	
	3897.25	
	3897.00	
	3896.75	
	3896.50	
	3896.25	
	3896.00	
	3895.75	
	3895.50	9
10	3895.25	
	3895.00	
	3894.75	
	3894.50	
	3894.25	
	3894.00	
	3893.75	
	3893.50	
	3893.25	
	3893.00	
	3892.75	
	3892.50	

×

10

🔒

9

×

Figura 1 Libro Electrónico de órdenes

La figura anterior, es un ejemplo de un libro electrónico de órdenes para el lapso de 1 minuto de negociación sobre el contrato futuros E-Mini S&P 500, es esta podemos encontrar los elementos antes mencionados, en color rojo se presenta las órdenes de venta en el mercado que en conjunto con el panel derecho forma la precisión de la oferta en el mercado dentro del precio y la profundidad del mercado con el volumen de cada orden.

De igual forma, en color azul se encuentra las órdenes de compra y en el panel izquierdo las cantidades de compra de cada una de las órdenes, lo que reflejaría las presiones de demanda sobre el contrato. Es importante destacar que la figura presentada corresponde a un minuto de negociación aleatorio sobre el cual se presentan múltiples ordenes de oferta y demanda hasta formar el LOB que sirve para resumir las intenciones del mercado.

En este caso, evidenciamos también que no existe una mayor asimetría de información en el mercado bajo el supuesto de la inexistencia de una horquilla de precios. En la siguiente figura, se presenta un ejemplo de una horquilla de precios para un minuto de negociación sobre el par USDJP.



Figura 2 LOB con presencia de spread Bid-Ask

En la figura anterior, se presenta un diferencial pronunciado sobre los precios de oferta y demanda, implícitamente se consideraría que los traders cuentan con información aislada y por ende sus intenciones y necesidades en el mercado generan una mayor fluctuación del precio de los activos sin una convergencia a su valor de equilibrio.

Gráficamente la horquilla se puede ver en la generación de precios como la figura presentada; aquí se puede evidenciar una mayor presión de agentes vendedores debido a que en cuatro momentos el spread fue cubierto por compras (velas verdes) pero mantiene una tendencia del precio a la baja manteniendo el spread del mercado.



Figura 3 Incidencia del Spread Bid-Ask en el gráfico de precios

La información suministrada por el LOB se toma en cuenta para dar un parámetro de asimetría de información en la estrategia, considerando que escenarios los posibles escenarios:

Tabla 2 Escenarios obtenidos del LOB

Escenarios	Detalle	Fase
1. Profundidad del mercado	Presencia de altos volúmenes negociados y velas con tendencia marcada, indica un gran factor de apetito por riesgo	Costo de inventario: Implica que la mayor parte de los operadores cuenta con los recursos económicos y en activos para realizar grandes operaciones sin afectar el nivel de inventario de activo
2. Mayor fricción en los precios	Mayor diferencial entre la cotización del futuro y el spot, esto genera una horquilla de precios más amplia	Coste de operación: Implica un mayor costo implícito como valor adicional en el precio de la orden, con el fin de obtener recursos que financian las operaciones
3. Presencia de asimetrías de información	Mayor horquilla de precios con volúmenes de operación considerados constantes	Asimetría de información: Indica que las intenciones de los operadores difieren entre sí, lo cual implica un mayor coste de entrar en el mercado con precios competitivos
4. Convergencia al precio de equilibrio	Una mayor cercanía al precio de equilibrio, se genera una horquilla de menor amplitud o inexistente, los volúmenes suelen ser grandes y se generan canales de tendencia central	Asimetría de información: Implica una mejor distribución de información, los operadores se acercan a precios de equilibrio para posteriormente implementar estrategias que sigan una tendencia marcada, también existe una menor fricción por la reducción del costo de operación y una mayor

		profundidad de mercado por la participación de más agentes
--	--	------------------------------------------------------------

Estos escenarios fueron construidos con base en la definición de las fases de la microestructura (costo de operación, costo de inventario, asimetría de información) y con el objetivo de materializarlas e implementarlos en un desarrollo funcional para el presente estudio.

En este contexto, cada escenario podría influir en el comportamiento de la estrategia de acuerdo con el comportamiento del mercado, sin embargo, dado que la labor de analizar el LOB requiere de la presencia del operador se introducirán los parámetros a considerar por cada escenario y así estandarizar el uso del modelo.

- Escenario 1: Profundidad del mercado

Este escenario presenta un costo de inventario menor o cero e implica profundidad en el mercado, considerando velas de 5 minutos se tomaron como altos volúmenes cuando se presentan volúmenes consecutivos superiores al máximo volumen móvil de las 5 velas anteriores. Adicionado se tendrán en cuenta durante el momento de revisión de la última vela con tendencia marcada alcista o bajista. Cuando la tendencia sea alcista se asignará un mejor valor de compra y un take-profit de 0.50 puntos, cuando la tendencia sea bajista se asignará un menor valor de venta con un take-profit de 0.50 puntos.

Dentro del modelo, se incluyen estos parámetros una vez se genera una señal de compra o venta, evalúa el escenario y si existen las condiciones descritas ajusta el precio y características de las órdenes en el mercado.

- Escenario 2: Mayor fricción en los precios

En este escenario se tuvo en cuenta cuando el diferencial entre el precio del futuro en t y el precio del futuro en $t-1$ sea de mínimo 5 ticks, equivalentes a 20 puntos de cotización. En este escenario se indicaría un mayor costo en precios para poder ejecutar una orden dada la posibilidad de mejores ofertas en el mercado. Cuando

se evidencie este comportamiento asignaremos un valor de reducción en el precio de venta y un valor de incremento en los precios de compra, este valor se establecerá en 1 ticks (cuatro puntos).

Durante las pruebas realizadas no se presenta este escenario, principalmente por la latencia de 5 minutos donde la variación de precios en los diferentes momentos no fue menor a 5 ticks y no se incurrió en mayor costo sobre el precio para garantizar la ejecución de la operación.

- Escenario 3: Presencia de asimetría de información

Es este escenario se consideran volúmenes de las últimas 10 velas contantes, y se calcularán dos parámetros para la estimación del precio.

$$\beta = 0.5 * \frac{\sigma_V^2}{\sigma_U^2}^{0.5} : \text{Parámetro de agresividad de agentes informados}$$

Donde:

σ_V : *Desviación de precios de las últimas 10 órdenes de agentes informados*

σ_U : *Desviación de precios de las últimas 10 órdenes de agentes no informados*

Esta distinción surge al definir los tipos de agentes, los agentes informados basan sus decisiones comerciales en información sobre los aspectos fundamentales del activo, estos agentes tienden a mover el precio hacia su valor fundamental, también suelen usar información que se considera privilegiada y que no todo el mercado conoce en el mismo momento de tiempo por lo que tienen mayores oportunidades de obtener beneficios (Schmidt, 2011).

Por otra parte, el agente no informado suele basar sus decisiones en patrones técnicos con poco acceso a información fundamental del activo, aprovecha los movimientos volátiles como oportunidades de compra o venta sin esperar como resultado una valorización de mayor plazo del activo. La razón de estos parámetros

es considerar a los agentes informados como los potencializadores de la tendencia de un precio y obtener un mejor seguimiento del mercado al operar con la estrategia.

Estos parámetros son incluidos en el cálculo del precio al cual se ejecutaría una orden, el parámetro fue calculado únicamente cuando se encontraba una oportunidad de compra o venta y la señal decidiría si ejecutar la orden o no, un mayor parámetro de agresividad de agentes informados considera un mayor valor de oportunidad en el mercado a precios competitivos, en este caso cuando la orden sea de venta se verá un incremento de $1 + \beta$ y cuando la orden sea de compra se verá una reducción de $1 - \beta$.

- Escenario 4

En este escenario cuando la horquilla de precios sea inferior a 20 ticks, se tomará como un parámetro de compra o venta con la estrategia base de oportunidad de corto y mediano plazo, esto con el objetivo de mantener en ejecución la estrategia al mejor precio disponible.

En el modelo se considera la mayor horquilla posible de 20 ticks durante la ejecución de las operaciones, en los momentos donde el ATR fue mayor la horquilla se vería afectada llegando hasta un tamaño de 20 ticks + $\text{Max}(\text{ATR}_{t-1} \text{ hasta } t-5)$, por lo tanto, la ejecución del take profit y del stop loss se realiza con un mayor margen aprovechando el movimiento fuerte del mercado.

7.2. Análisis econométrico del Fair Value del contrato S&P 500 Mini

El presente trabajo recae en el mercado de futuros americanos como ya se ha mencionado, sin embargo dada la posible selección de los datos de diferentes futuros sobre acciones y su respectiva volatilidad del subyacente las características de los contratos pueden cambiar, es decir que el tamaño, la mínima variación de tics, el histórico de negociación, entre otras características harán que la base de datos sea más compleja de trabajar y se presente inconvenientes al momento de diseñar la estrategia para cada contrato, Por lo

anterior se decidió tomar como activo de estudio al futuro de mayor liquidez del índice S&P 500, este contrato tiene vencimientos mensuales pero su cotización es constante en el mercado para mantener una relación de precios en el tiempo para vencimientos de mayor vencimiento.

En el análisis, se incluye un acercamiento a valor fundamental o Fair Value del contrato, en el mercado de futuros, puede definirse como el precio equilibrado de un contrato. Al operar en mercados financieros, si los mercados a futuros están por encima del precio objetivo, entonces es un indicador de que el sentimiento de mercado es alcista, lo que quiere decir que hay mayores probabilidades de que el mercado se revalorizará.

Por otro lado, si los mercados a futuros están por debajo del Fair Value, es un indicador de que el sentimiento en el mercado es bajista, lo que quiere decir que hay mayores probabilidades de que el mercado se depreciará. Para este trabajo se realizó un cálculo teórico del valor razonable para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de noviembre de 2020, es este periodo de tiempo se evidencia un comportamiento alcista del índice S&P500 con escenarios de alta volatilidad y eventos de crisis que redujeron el valor hasta un 38% con su respectiva recuperación. Estos escenarios recogen información relevante a la hora de estructurar una estrategia de negociación ya que podemos incluir un parámetro de respuesta ante movimientos fuertemente negativos y toma de órdenes con potencial generación de rendimientos aprovechando las fallas del mercado.

$$Valor\ Razonable_{SPX} = Spot_{Indice} \left[1 + r \left(\frac{n}{360} \right) \right] - Dividendos$$

Donde:

n = días al vencimiento

Dividendos: Dividendos promedio sujetos al ETF del índice S&P 500

La premisa del Fair Value, se compone de que la estrategia aproveche las diferencias del valor razonable teórico del SPX como parámetro de tendencia de corto plazo para la ejecución de nuevas órdenes de mercado.

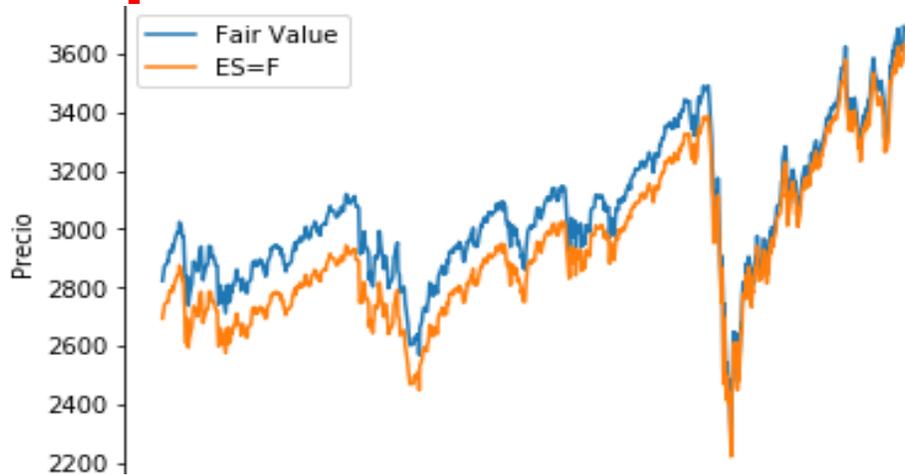


Figura 4 Fair Value Teórico vs S&P 500 Future

Al realizar una simulación de cotización de los últimos 6 meses (1/06/2020 al 30/11/2020), se encontraron claras similitudes frente al último tramo del gráfico anterior, por lo tanto, tener una estimación del valor más cerca a la cotización del futuro en el mercado real.

En la siguiente figura se puede ver que cuando el diferencial del valor es mayor, indica que se está alejando de su valor razonable de cotización, principalmente por la volatilidad presentada con tendencia marcada.

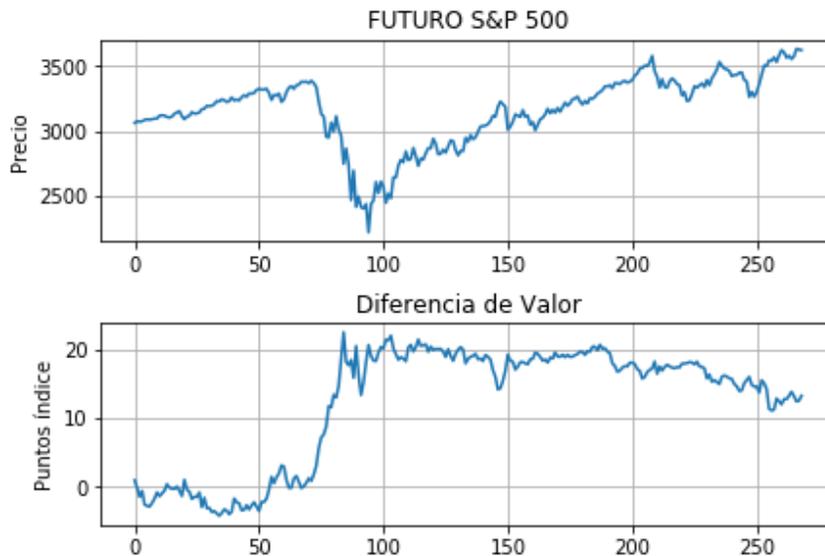


Figura 5 Diferencial entre Valor Razonable vs Cotización Real

Simulación de Barras de Valor Razonable Teórico

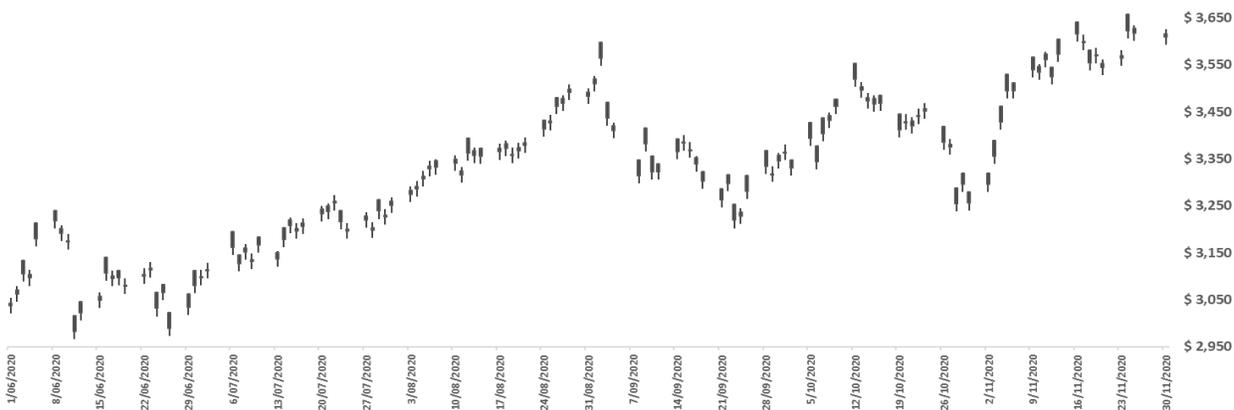


Figura 6 Simulación de Fair Value

Con la estimación del Fair Value teórico se logró estimar un proceso de cotización de seis meses con velas diaria, en ésta se logra observar cómo es posible seguir el comportamiento tanto del índice como de su valor futuro y al comparar el diferencial estimar un mejor precio de operación en congruencia con los sentimientos del mercado (alcista o bajista).

7.3. Desarrollo del algoritmo de negociación considerando el modelo de microestructura

Como se mencionó anteriormente, se tomaron los posibles escenarios para estimar el precio, siguiendo esta metodología se integra un vector de precios de operación de acuerdo con las señales (compra o venta) que se generen desde la estrategia.

La estrategia implementada es un Quiebre de resistencia o soporte, se basa en considerar los puntos de cambio de tendencia y abrir posiciones gestionadas automáticamente con un take profit de 2 ticks (8 puntos índice) y un stop loss para detener la cotización calculado mediante un ATR.

El indicador ATR (Average True Range) o “promedio del rango verdadero”) es un indicador muy útil en trading y sirve para medir la volatilidad de los precios. Con el ATR es posible estimar en qué proporción se moverá el precio en un periodo normal de trading.(Sharon Yamanaka, 2012, pp. 76–79)

El indicador ATR se construye a partir del rango verdadero o true range (AT), el rango verdadero es el valor más grande entre los siguientes:

- El máximo de hoy menos el mínimo de hoy
- El máximo de hoy menos el cierre de ayer
- El cierre de ayer menos el mínimo de hoy

Como lo que buscamos es limitar las pérdidas por operaciones abiertas en escenarios inversos a los deseados, tomaremos el valor mínimo del AT como ATR, siguiendo este supuesto toda operación abierta a un precio de cotización calculado que cambie en la siguiente vela de tendencia será cerrada con un stop loss igual al precio de cierre en $t-1$ – el ATR para el caso de las señales de compra, y un stop loss igual al precio de cierre en $t-1$ más el ATR para el caso de las señales de venta.

Posteriormente, cuando se recibe la señal (compra o venta) se ejecuta y se cierra con el take profit para mantener un valor de rendimientos positivos a lo largo de la implementación. También como medida de gestión de la estrategia se cuenta con una condición de segunda validación de confirmación de tendencia, es decir, cuando se genera una señal de compra dada por un precio de cierre mayor a promedio móvil 10 de los precios máximos y un volumen superior al promedio móvil 10, se revalidará si existe la forma de comprar a un menor precio para obtener beneficios constantes.

En caso tal, que la tendencia no sea confirmada se hará un cambio de señal (venta) y validará la posibilidad de poner una operación de signo contrario.

La estrategia usada para este estudio consiste principalmente en analizar la ruptura de soportes o resistencias para tomar posiciones en el mercado cortas o largas. Como inclusión, el precio al cual se ejecuten las órdenes será calculado mediante el modelo que considera la microestructura del mercado.

El desarrollo del algoritmo considera velas de 5 minutos para un periodo de 5 días de cotización, en nuestro estudio se realizaron varias simulaciones encontrando que el mejor escenario es de velas de 5 minutos para

un periodo de 5 días debido a la alta probabilidad que tiene el contrato de cambiar de tendencia semanalmente y de forma fuerte con los eventos fundamentales del mercado. Se tomaron para realizar las pruebas del modelo velas de 5 minutos entre el 10 de enero de 2021 y el 15 de enero de 2021. Sin embargo, es posible ampliar el periodo de operaciones para mantener la ejecución por un mayor tiempo. Esto implica asumir mayores riesgos de disponibilidad de capital para soportar las operaciones y asumir las pérdidas generadas entre tanto se ejecute el stop de cada orden.

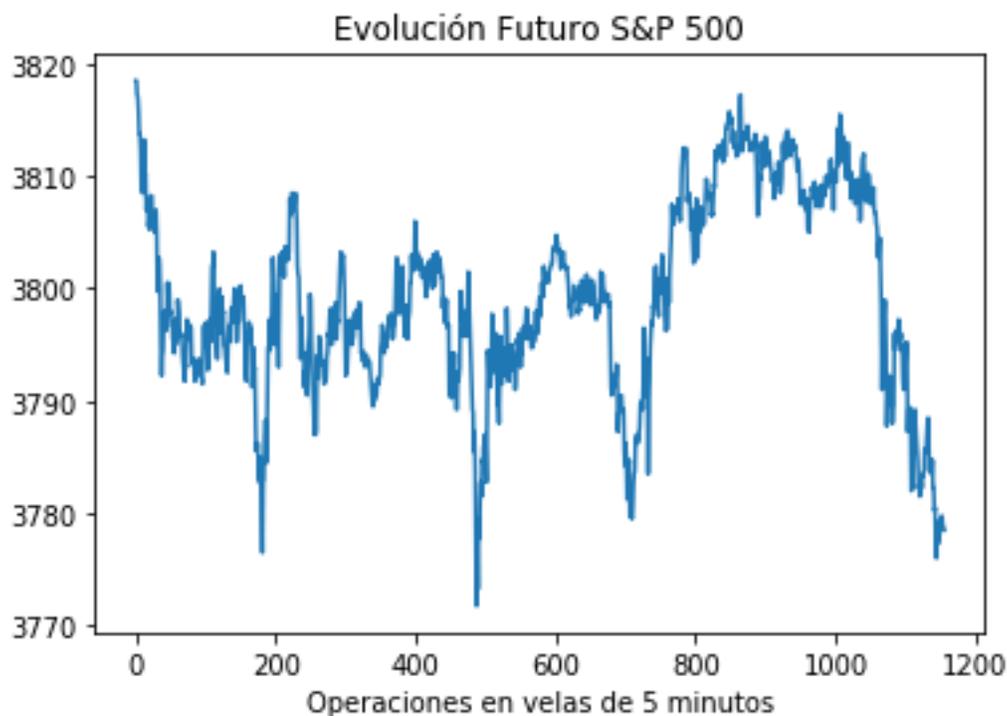


Figura 7 Cotización Futuro S&P 500 del 10 al 15 de enero 2021

El escenario usado para la prueba permite aprovechar la alta volatilidad para generar cotizaciones ganadoras y salidas rápidas evitando el desplome o el alza significativa para la inversión. Los precios de cotización fueron calculados de la siguiente forma, teniendo en cuenta las señales del mercado y el parámetro de agresividad de agentes informados descrito en el numeral anterior.

$$\text{Precio}_{\text{Compra}} = \text{Cierre}_{t-1} - \beta$$

$$\text{Precio}_{\text{Venta}} = \text{Cierre}_{t-1} + \beta$$

El uso del índice beta para parametrizar los precios de las órdenes generadas implica que se consideran las oportunidades de comprar a un precio al cual el mercado está dispuesto a vender, o en caso contrario, vender a un precio donde el mercado está dispuesto a comprar. Ya que el beta calculado surge de los precios previos generados en el mercado diferenciando entre aquellas que contienen más información y menos información.

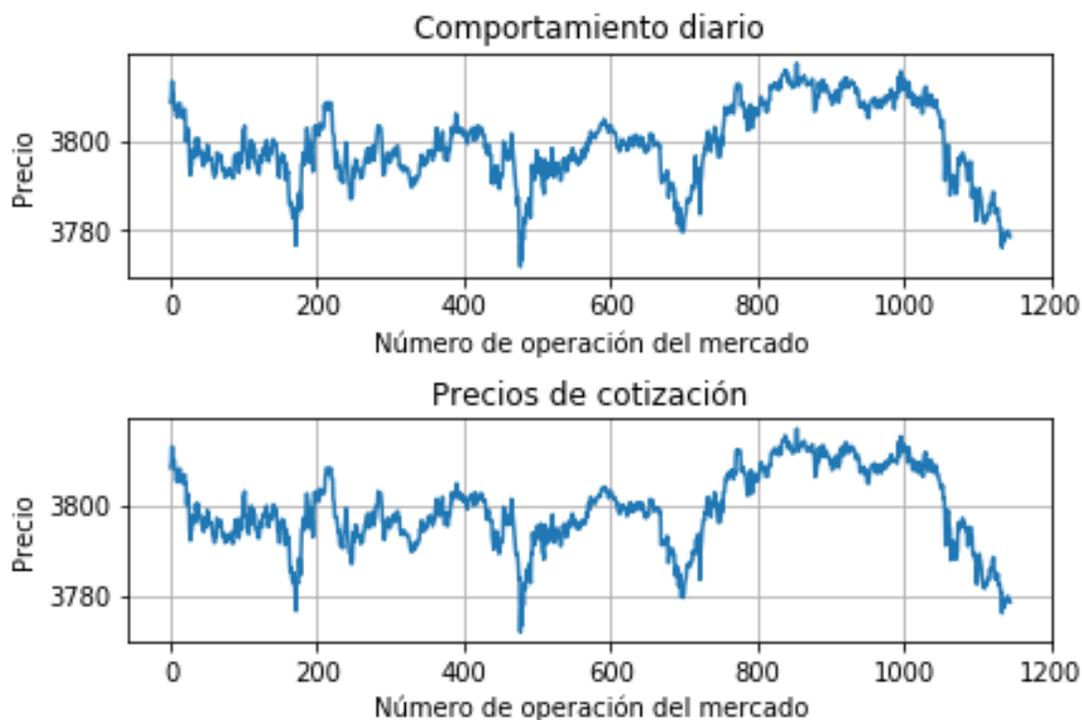


Figura 8 Evolución cotizaciones simuladas

7.4. Definición y características del backtesting a implementar

El Backtesting implementado realiza dos comparaciones, por una parte, realiza un seguimiento de los precios de operación calculados y los compara frente a la cotización real, como se presenta a continuación los precios siguen la cotización real, es decir, no se están asumiendo operaciones consideradas fuera de mercado.

La prueba, también estima los KPI's o indicadores de rendimiento obtenidos tras la implementación para facilitar el análisis del funcionamiento de la estrategia.

Se implementa una simulación de backtesting en Python, el backtesting está destinado principalmente a estrategias comerciales sistemáticas con posiciones largas y cortas que utilizan activos de cotización constante.

Index	Indicadores
Retorno	4.6387
Sharpe Ratio	4.42741
Max Drawdown	1.91572e-11
CAGR	[5.11174678]
Volatilidad	0.00539525
% Ventas	60
% Compras	40

Figura 9 KPI's de la estrategia

Con el backtesting, se logró un retorno de 4.64% para un periodo de 5 días, con una volatilidad de los retornos relativamente baja de 0.005%, esto principalmente a la ejecución del Stop Loss siempre que se cambiaba la señal. El crecimiento diario del rendimiento es de 5.11%, es decir que en la medida que avanza logra incrementar los retornos en 5.11% por las tenencias de mayor duración sin cambios de tendencia.

El Ratio de Sharpe, permite medir numéricamente la relación rentabilidad / volatilidad histórica, cuanto mayor es el Sharpe, mejor es la rentabilidad de la inversión en relación con la cantidad de riesgo que se ha tomado. A mayor volatilidad, mayor riesgo, ya que las probabilidades de que se tengan retornos negativos es mayor cuanto mayor sea la volatilidad de sus rendimientos. Igualmente, a mayor volatilidad son mayores las probabilidades de elevados retornos positivos. Por eso, cuando la volatilidad es grande, mayor es el denominador de la ecuación y menor es el Ratio Sharpe.

Se obtuvo un sharpe de 4.42 para los 5 días de negociación, y un máximo Drawdown de 1.9157, este mide el retroceso de la curva de retornos respecto al anterior máximo en dicha curva y es una forma de medir el riesgo de una estrategia de trading, ya que es el valor máximo de retorno negativo que obtendríamos.

El backtesting inicialmente es usado para la investigación de estrategias cuantitativas internas de una comunidad comercial minorista más amplia y también dentro de los fondos de cobertura institucionales, sin embargo, tuvo modificaciones simples para poder enlazarla con la cotización de futuros con énfasis en la construcción de una cartera y la gestión de riesgos.

8. Resultados

Se implementa la estrategia con el código anexo “Estrategia_SPX.py”, inicialmente obtenemos la volatilidad para el periodo del 10 al 15 de enero de 2021. Y las señales de Stop Loss que se calcularon mediante el ATR mínimo.

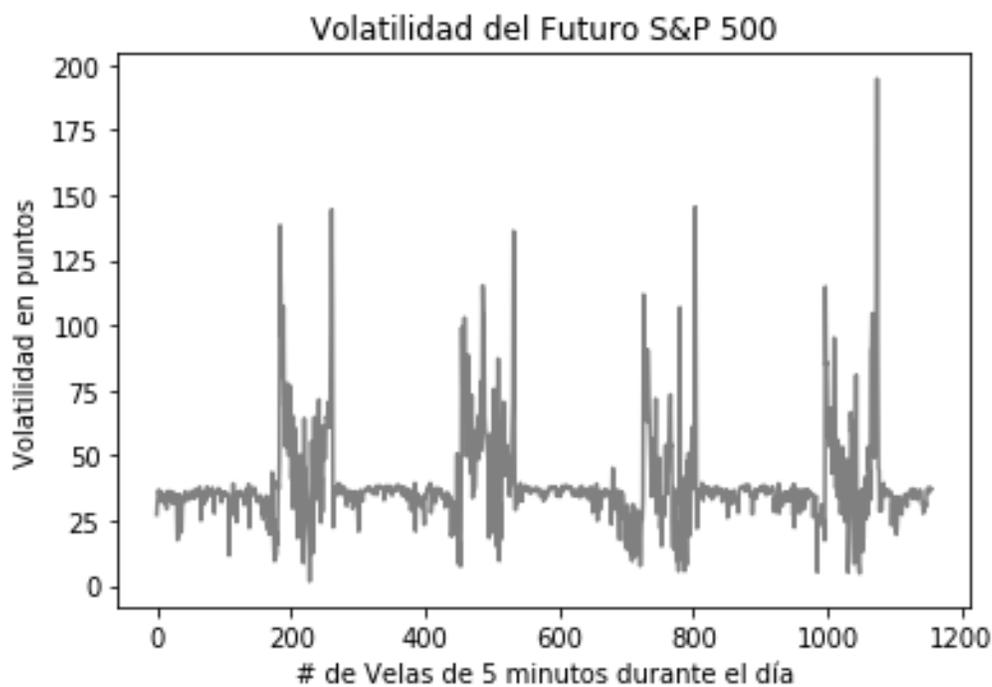


Figura 10 Volatilidad Futuros S&P 500

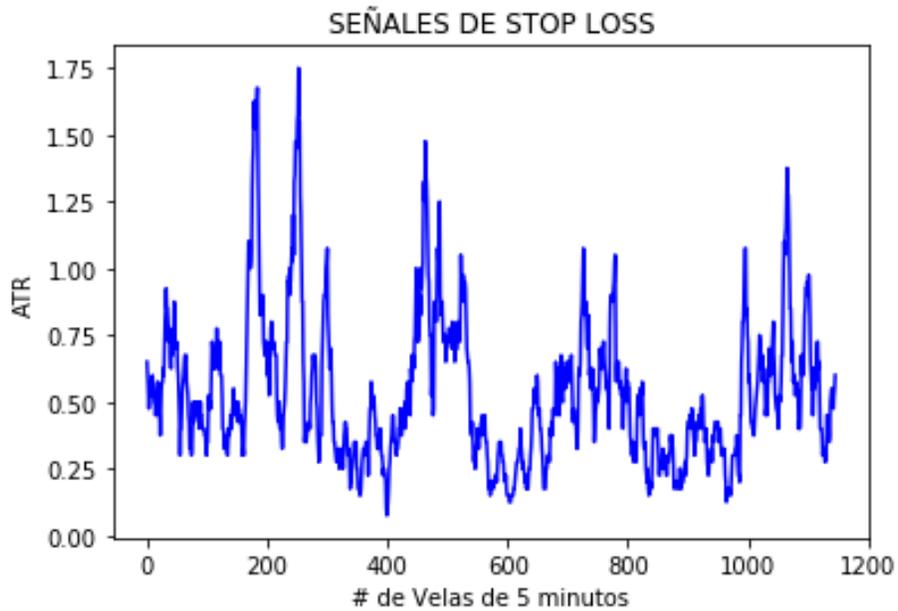


Figura 11 Señales de ejecución Stop Loss

Las señales indican las variaciones máximas permitidas como pérdida en los diferentes momentos en que se realice una operación. Se obtuvo un retorno promedio de 4.33 en la primera ejecución, y limitando los retornos negativos por encima de -0.05%.

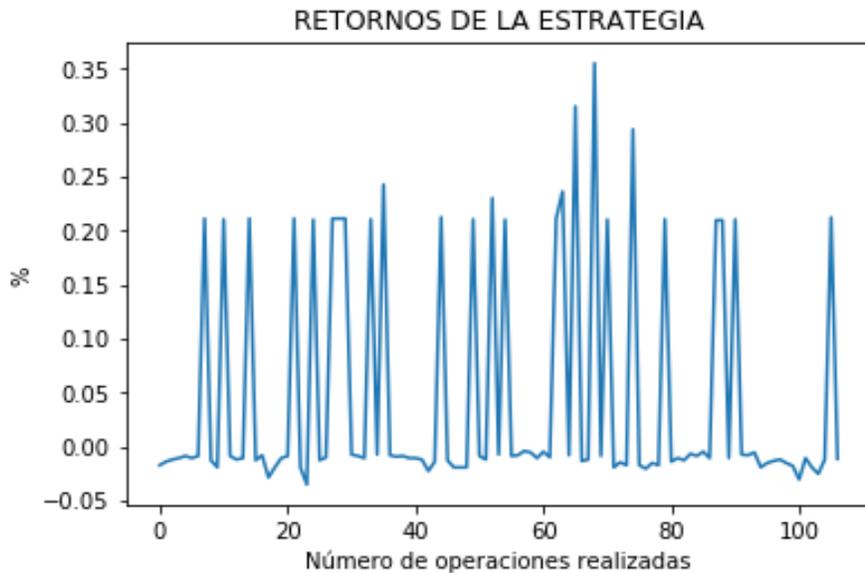


Figura 12 Retornos por operación

Como resultado de la estrategia se realizaron 60 operaciones de venta y 40 operaciones de compra, en relación con la tendencia bajista que se pudo observar en la figura 7.

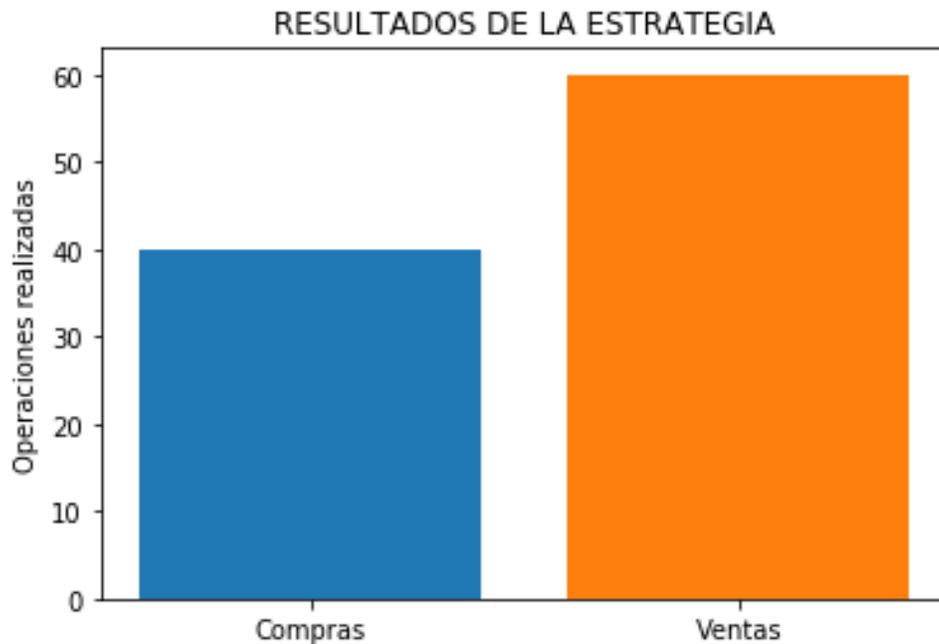


Figura 13 Numero de operaciones ejecutadas

9. Conclusiones

A pesar de que la literatura descrita menciona múltiples trabajos sobre la formación de precios mediante modelos de microestructura de mercados se toma en cuenta el que mayor ajuste tiene de acuerdo con nuestro instrumento de estudio y la información disponible, considerando los tipos de datos y el aporte final que se esperaba del modelo en la efectividad de una estrategia de negociación. La elección del modelo aplicado permitió establecer el rango de movimiento de precios buscando seguir las intenciones del mercado y operar de acuerdo con el sentimiento y la tendencia del precio, se estandarizaron los precios de las ordenes con un incremento móvil medido por β . En la ordenes realizadas se encontró que cuanto mayor diferencia se logre encontrar entre agentes informados y agentes no informados, es decir una mayor presencia de asimetría de

información, es posible generar mejores precios de cotización y mayores oportunidades de realización de rendimientos.

Durante la caracterización del libro de órdenes se logró conocer el efecto de las intenciones del mercado en la formación del Spread Bid – Ask u horquilla de precios. Además, se logró interpretar la relación entre la horquilla y la liquidez del mercado, donde se presentan normalmente aumentos de liquidez en cuanto la horquilla sea menor, y a su vez los volúmenes son constantes. Este efecto genera un canal de tendencia principalmente por la participación de creadores de mercado y el envío constante de órdenes al mercado.

Se encontraron claras similitudes frente en la estimación del valor razonable frente a la cotización del futuro en el mercado real. Sin embargo, al estimar un proceso de cotización de seis meses con velas diarias, se logra observar cómo es posible seguir el comportamiento tanto del índice como de su valor futuro y al comparar el diferencial para estimar un mejor precio de operación que tenga congruencia con los sentimientos del mercado se genera una desviación frente a los precios reales.

Por su parte, para el cálculo del valor razonable, se consideró en un principio tomar el dividendo constante de 30 puntos índice, tomado del indicador que calcula el dividendo de las acciones que componen el índice S&P500 y siendo este el máximo dividendo registrado para el periodo de estudio. La razón, es que, dado que los emisores pagan dividendos en diferentes momentos del año, el movimiento del indicador tiene un comportamiento cíclico y en periodo de inicio y mitad del año el dividendo es considerablemente reducido. Cuando se estima el fair value con dividendo variante y se hace la diferencia con el valor razonable a dividendo constante se obtiene un comportamiento similar al índice de dividendos usado como base, por lo anterior, se podrían estimar precios de cotización con un mayor diferencial al precio del mercado y al realizar el backtesting se obtendrían rendimientos mayores que no estaría realmente cercanos a la realidad y los KPI no serían calculados de forma coherente.

Además, a pesar de que se menciona el HFT en el trabajo, un algoritmo de este tipo tiene requerimientos tecnológicos mayores y costosos, además de considerar un ajuste mayor de los modelos. Por lo tanto, el

algoritmo se agrupa en el AlgoTrade o trading algorítmico sin dejar de lado la implementación de modelos de microestructura en la formación de precios para diseñar la estrategia de negociación efectiva.

La estrategia diseñada permite obtener rendimientos positivos en periodos de tiempo asignados de hasta 30 días, permite además la negociación intradía sobre el futuro el cual tiene una alta volatilidad diaria. Frente a la significancia del modelo y los resultados del backtesting establecen indicadores positivos para el periodo analizado, donde es posible generar rendimientos superiores al 6% en 5 días, equivalente a una rentabilidad mensual del 25%, sumado con una adecuada gestión de riesgo que fue integrada y que mantiene una baja volatilidad de los retornos y una probabilidad de pérdida máxima esperada de 2% previo al cierre de cada operación. Adicionalmente se concluyeron los siguientes hechos que se podrían integrar y fueron identificados durante la construcción del modelo.

- Implementar la misma o similares estimaciones de precios en otras estrategias de inversión buscando resultados óptimos y una comparación de los diferentes modelos de microestructura de mercado alineados con el comportamiento particular que tenga cada activo.
- Profundizar en la búsqueda de fuentes de información de mercado que permite hacer un mejor análisis de las tendencias y las intenciones de los participantes del mercado.
- Debido al funcionamiento del mercado de futuros, que es un poco más complejo que otros mercados considerados “tradicionales”, es importante distinguir que no todas las estrategias de trading o las metodologías de microestructura son aplicables a todos los mercados.

El código de estimación de precios, implementación de la estrategia y backtesting fue estructura en Python con versión 3.7, permite replicar en otros equipos y cuenta con una estructura y jerarquía modificables para

inversiones en varios activos o construcción de carteras eficientes. Sin embargo, es preferible homologar a entornos de programación actualizados.

Las conclusiones del modelo y del documento pueden inferir en nuevas metodologías de valoración y control de riesgos en el mercado, de igual forma se hace un aporte al esclarecer que el uso de estos algoritmos genera un impacto positivo en el mercado por aumentar la liquidez de los activos, profundizar el mercado gracias a la inclusión de nuevos inversionistas y así mismo de incrementar los volúmenes de negociación.

10. Recomendaciones

Aunque el trabajo realizado presenta una aproximación y aplicación del uso de algoritmos de negociación, resulta conveniente para futuros trabajos explorar y apropiar otras metodologías de microestructura buscando mayor robustez tanto en el planteamiento del modelo como en la efectividad de la estrategia.

De igual forma, se considera que el rezago o latencia de información es aproximadamente de 15 minutos, lo que lo hace demasiado amplio para garantizar el buen funcionamiento de la estrategia en función del mercado real. Frente a esto, se debe ampliar el desarrollo del algoritmo integrando herramientas de recopilación y análisis de datos con mayor efectividad, revisar la actualización de librerías y paquetes funciones usadas en Python, así como la posibilidad de realizar conexiones con una interfaz de programación de aplicaciones (API) de plataformas de trading que permitan ejecutar scripts directamente en el mercado.

Es importante continuar con la investigación del tema expuesto, invitando a la comunidad académica en la profundización sobre la teoría financiera y su empalme en el desarrollo tecnológico que se puede aplicar y que a la fecha presenta un potencial de crecimiento para el caso del mercado financiero colombiano si se revisa frente a otros mercados más desarrollados.

11. Bibliografía

- Admati, A. R., & Pfleiderer, P. C. (1998). Forcing Firms to Talk: Financial Disclosure Regulation and Externalities. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.103968>
- Banco de Mexico. (2007). *Las infraestructuras de los Mercados Financieros*. Banxico. http://educa.banxico.org.mx/banco_mexico_banca_central/sistema-pago-infraestructura-m.html
- Banco Internacional de Pagos. (2014). *Principios aplicables a las infraestructuras del mercado financiero*. Bank for Internat. Settlements.
- Birbuet, J. C. (2015). MICROESTRUCTURA DE MERCADOS , COSTOS DE TRANSACCIÓN Y COMPORTAMIENTO DE CORTO PLAZO. *Social Progress Index, October*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5145.2884>
- Blume, L., Easley, D., & O'hara, M. (1994). Market Statistics and Technical Analysis: The Role of Volume. *The Journal of Finance*, 49(1), 153–181. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1994.tb04424.x>
- Brown, D. P., & Jennings, R. H. (1989). On Technical Analysis. *The Review of Financial Studies*, 2(4), 527–551. <https://doi.org/10.1093/rfs/2.4.527>
- Caballé, J., & Krishnan, M. (1994). Imperfect Competition in a Multi-Security Market with Risk Neutrality. *Econometrica*, 62(3), 695–704.
- Calcagno, R., & Lovo, S. (2006). Bid Ask Price Competition with Asymmetric Information Between Market Makers. *Review of Economic Studies*, 73, 329–355. https://doi.org/10.1111/j.1467-937X.2006.378_1.x
- Cardoso, R. G. (2015). *Pair Trading : Clustering Based on Principal Component Analysis*. January.
- Chordia, T., Goyal, A., Lehmann, B. N., & Saar, G. (2013). High-frequency trading. *Journal of Financial Markets*, 16(4), 637–645. <https://doi.org/10.1016/j.finmar.2013.06.004>
- Copeland, T. E., & Galai, D. (1983). Information Effects on the Bid-Ask Spread. *The Journal of Finance*, 38(5), 1457–1469.
- Dayri, K., & Rosenbaum, M. (2015). Large Tick Assets: Implicit Spread and Optimal Tick Size. *Market Microstructure and Liquidity*, 01(01), 1550003. <https://doi.org/10.1142/s2382626615500033>
- Diaz, D. A. (2003). Aspectos relevantes del diseño de la microestructura del mercado: El caso español. *Facultad de Ciencias Económicas Uversidad de Alicante*.
- Easley, D., O'Hara, M., Easley, D., & O'Hara, M. (1992). Time and the Process of Security Price Adjustment. *Journal of Finance*, 47(2), 576–605.
- Evans, M. D. D., & Lyons, R. K. (2002). Order Flow and Exchange Rate Dynamics. *Journal of Political Economy*, 110(1), 170–180.
- Fama, E. F. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383–417.

- Foster, F. D., & Viswanathan, S. (1990). A Theory of the Interday Variations in Volume, Variance, and Trading Costs in Securities Markets. *The Review of Financial Studies*, 3(4), 593–624.
- Francisco, P., Moreno, J. J., Javier, F., & García, B. (2010). *Principios de Economía*.
- Garman, M. B. (1976). Market microstructure. *Journal of Financial Economics*, 3(3), 257–275. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-405X\(76\)90006-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-405X(76)90006-4)
- Glosten, L. R., & Milgrom, P. R. (1985). Bid, ask and transaction prices in a specialist market with heterogeneously informed traders. *Journal of Financial Economics*, 14(1), 71–100. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-405X\(85\)90044-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-405X(85)90044-3)
- Graham, B., & Dodd, D. L. (2007). Security Analytics 6ta Edition. *Rocket Science for Traders*, 819.
- Grundy, B. D., & McNichols, M. (1989). Trade and the Revelation of Information through Prices and Direct Disclosure. *The Review of Financial Studies*, 2(4), 495–526. <https://doi.org/10.1093/rfs/2.4.495>
- Harris, L. (2002). Trading and Exchanges. *Trading and Exchanges*, 113. <https://doi.org/10.2469/faj.v60.n4.2640>
- Holden, C., & Subrahmanyam, A. (1992). Long-Lived Private Information and Imperfect Competition. *Journal of Finance*, 47, 247–270. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1992.tb03985.x>
- Investopedia. (2019). *Definición del valor razonable*. <https://www.investopedia.com/terms/f/fairvalue.asp>
- Krishna, P., & Paul, H. (1993). The effect of firms' financial disclosure strategies on stock prices. In 1993.
- Kyle, A. S. (1985). Continuous Auctions and Insider Trading. *Econometrica*, 53(6), 1315–1335.
- Mankiw, N. G. (1997). *Principios de economía, Sexta edición* (Javier Reyes Martínez & T. E. García, Eds.). Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- Mann, S. C., & O'Hara, M. (1996). Market Microstructure Theory. In *The Journal of Finance* (Vol. 51, Issue 2, p. 770). <https://doi.org/10.2307/2329383>
- Manuel, J., & Saona, A. (2009). *Dinámica del Tipo de Cambio: Una Aproximación desde la Teoría de la Micro Estructura del Mercado **.
- Oberlechner, T., & Osler, C. L. (2008). Overconfidence in Currency Markets. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1108787>
- Reidl-Martínez, L. M. (2012). *Marco conceptual en el proceso de investigación*. ELSEVIER. <http://www.scielo.org.mx/pdf/iem/v1n3/v1n3a7.pdf>
- Ricardo, C. R., & Hegab, M. (2017). *EL MERCADO DE VALORES Y SU FUNCIONAMIENTO*.
- Rochet, J.-C., & Stole, L. A. (1994). Nonlinear Pricing with Random Participation. *The Review of Economic Studies*, 69(1), 277–311.
- Schmidt, A. B. (2011). Financial Markets and Trading. In *Financial Markets and Trading*. <https://doi.org/10.1002/9781118268094>
- SECURITIES AND EXCHANGE COMMISSION. (2010). *Concept Release on Equity Market Structure*.
- Sharon Yamanaka. (2012). Average True Range. *Stocks & Commodities Magazine*, Vol. 20, 76–79.

- Subrahmanyam, A. (1991). Risk Aversion, Market Liquidity, and Price Efficiency. *The Review of Financial Studies*, 4(3), 417–441. <https://doi.org/10.1093/rfs/4.3.417>
- Tapia, M. (1999). LIQUIDEZ EN LOS MERCADOS FINANCIEROS Y SELECCIÓN ADVERSA: PROBLEMAS DE ESTIMACIÓN Y COMPRENSIÓN. *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, 28(98), 201–220.
- Tapia, M. (2014). *¿Qué sabemos de la negociación de alta frecuencia?* 48–52.
- Taylor, M., & Sager, M. (2008). Commercially Available Order Flow Data and Exchange Rate Movements: “Caveat Emptor.” *Journal of Money, Credit and Banking*, 40, 583–625. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4616.2008.00129.x>
- Úrsula, C., & Palou, G. (2015). *LATENCIA Y CALIDAD DEL MERCADO: EL CASO DEL SIBE SMART EN EL MERCADO ESPAÑOL*. www.finanzasquantitativas.com
- Walras, L. (1874). Eléments d’économie politique pure. *Revue de Théologie et de Philosophie et Comptes-Rendu Des Principales Publications Scientifiques*, 7, 628–632.
- Wang, J. (1994). A Model of Competitive Stock Trading Volume. *Journal of Political Economy*, 102(1), 127–168. <https://doi.org/10.1086/261924>
- Williamson, Ó. (1979). Transaction-Cost Economics: The Governance Of Contractual Relations. *Journal of Law and Economics*, 22, 233–261. <https://doi.org/10.1086/466942>