

## EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS ESTRATEGIAS DE OPERACIONES DE ALTA FRECUENCIA Y TRADICIONALES EN EL MERCADO FOREX

Luis Miguel Cruz Lázaro\*  
Felipe Abelardo Pérez Sosa\*\*

(Recibido: 12-noviembre-2018 – Aceptado: 17-enero-2019)

41

### Resumen

El objetivo de esta investigación es comparar el desempeño de distintas estrategias de inversión en el mercado FOREX a través de operaciones de alta frecuencia y estrategias tradicionales. Esto, debido a que aún existe un desconocimiento de los beneficios y riesgos que genera el emplear las estrategias con sistemas automatizados y de alta frecuencia. Por ello, en este trabajo se analizaron más de mil escenarios implementando un modelo de trading, el cual permite comparar estrategias de alta frecuencia con estrategias tradicionales, con el fin de evaluar estadísticamente sus posiciones finales. Los resultados muestran que los montos finales obtenidos por medio de estrategias de alta frecuencia son significativamente mayores que los conseguidos mediante estrategias tradicionales.

**Palabras clave:** Estrategias de Trading, Trading Algorítmico, Trading de Alta Frecuencia, Mercado Cambiario

**Clasificación JEL:** G11, G19, O33, G15

### Performance evaluation of high frequency and traditional trading strategies in the FOREX market

### Abstract

The aim of this work is to compare the performance of different investment strategies in FOREX market, through operations using High Frequency Trading or traditional strategies. This, due that

\* Estudiante del Doctorado en Ciencias Económico Administrativas de la Universidad Autónoma de Querétaro. Correo electrónico: corintio29@hotmail.com

\*\* Profesor Investigador de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Querétaro. Correo electrónico: fperez@uaq.mx

Los autores agradecen los comentarios de los dictaminadores anónimos. Los autores son responsables de los errores persistentes.

there is still a lack of knowledge about the risks and advantages that are originated by the use of strategies based on automatized systems and high frequency. Therefore, in this work we analyzed over a thousand scenarios, which allows us to compare High Frequency with traditional strategies, with the purpose to evaluate their final positions with statistical validity. Results show that the final amounts earned with High Frequency strategies are significantly higher than the amounts obtained with traditional strategies.

**Keywords:** Trading strategies, Algorithmic trading, High Frequency Trading, FOREX

**JEL classification:** G11, G19, O33, G15

## Introducción

El *High Frequency Trading* (HFT) o Trading de Alta Frecuencia (TAF) es una forma de operar en los mercados financieros,<sup>1</sup> que se remonta a 1999, como resultado de los avances tecnológicos. Desde entonces, se ha popularizado su uso hasta convertirse en un actor relevante en los mercados, teniendo como principal característica la alta velocidad de sus operaciones (King, et al., 2011; Miño, 2015; Ericsson y Fridholm, 2013; Jones, 2013; Chlistalla, 2011; Kaya, 2016; Gomber et al., 2011; Sáenz, 2012; Chordia et al., 2013; Hernández y Sánchez, 2017; Pomar, 2017; Huang, 2012).

No obstante, autores como Chordia et al., (2013), Gomber, (2011) y Chlistalla, (2011), señalan que las investigaciones, datos e información sobre este tema aún son insuficientes, ocasionando desconocimiento sobre sus efectos, ventajas y desventajas; tanto para sus usuarios, como para los mercados. Por ejemplo, un asunto que merece atención en este tema son los errores en la programación de los algoritmos, que han ocasionado pérdidas para sus operadores, como lo que sucedió con *Knight Capital* (Jones, 2013). Pero, al mismo tiempo, también se ha debatido sobre el impacto del TAF en la estabilidad de los mercados como es su posible participación en el *Flash Crash* de 2010; sobre el que algunos autores opinan que esta forma de operar amplificó un bucle de retroalimentación positiva, aunque no necesariamente fue el causante de esta anomalía (Chlistalla, 2011; Sáenz, 2012; Sornette y Der Becke, 2011; Kirilenko, et al., 2017; Jones, 2013). O, por otra parte, la discusión acerca del efecto del TAF en los mini *flash crashes* que se han presentado en los mercados de opciones, futuros y FOREX (Sornette y Der Becke, 2011). En este contexto, se han propuesto diversas formas para su legislación (Jones, 2013), las cuales se han encontrado con numerosas complicaciones, como la velocidad con la que se ejecutan sus operaciones (Sáenz, 2012).

Es así que surge la necesidad de investigar más a fondo las implicaciones del TAF; concretamente, con este trabajo se pretende comparar el desempeño de la estrategia de operación de arbitraje estadístico en su modalidad de alta frecuencia con la versión tradicional, y, de esta manera, determinar si hay mayores beneficios para los operadores de alta frecuencia, en comparación con los obtenidos por medio de estrategias tradicionales. Para este fin, se diseñó un modelo de trading algorítmico usando como base la desviación estándar móvil muestral, que sirve como criterio para modificar la frecuencia de órdenes emitidas, lo cual

<sup>1</sup> “Los mercados financieros, son aquellos mercados donde hay una intermediación financiera y se encuentra conformado por cuatro: mercado monetario, mercado de crédito, mercado de capital y mercado cambiario” (Rosseti, 2010).

permite comparar el desempeño de las distintas estrategias. De esta manera, con este trabajo se busca aportar evidencia que contribuya a la discusión científica sobre la materia y conocer la conveniencia de esta forma de operar para los inversionistas.

Dicho lo anterior, esta investigación se conformó de la siguiente forma: la sección uno corresponde a la revisión de la literatura en donde se abordan los aspectos teóricos pertinentes con el tema; la segunda sección corresponde al marco metodológico; la tercera sección es en donde se muestran los resultados de la investigación y por último se presenta la sección de conclusiones e implicaciones surgidas de este trabajo.

## 1. Marco teórico

El *Trading de Alta Frecuencia* (TAF) se define como un sistema automatizado que, con base en estrategias previamente diseñadas, realiza operaciones a una alta velocidad, teniendo como principales características: que ejecuta miles de operaciones en periodos de tiempo muy breves, normalmente en fracciones de segundos; que obtiene ganancias pequeñas por cada operación, en correspondencia con el valor de las posiciones, pero, al realizar miles de operaciones por minuto se obtienen ganancias muy altas; que tiene altos costos fijos debido a que se requiere de una inversión inicial muy alta; que normalmente requiere estar cerca de los mercados donde opera; que se eliminan los intermediarios financieros lo que reduce el costo de las operaciones y que regularmente se implementa en mercados muy líquidos como el *FOREX* (Huang, 2012; Miño, 2015; Chlistalla, 2011; Chordia et al., 2013; Hernández y Sánchez, 2017; Pomar, 2017; Sáenz, 2012; Jones, 2013; Kaya, 2016; Gomber et al., 2011). La velocidad que caracteriza al TAF depende de tres elementos: la potencia de las máquinas, la calidad del algoritmo y el enlace de la red con los mercados, los cuales se pueden mejorar de distintas maneras (Chlistalla, 2011). Adicionalmente, pueden influir en el tiempo de las operaciones, la latencia<sup>2</sup> y el volumen de datos (Pomar, 2017).

Normalmente, este tipo de operaciones no generan comisiones a terceros, debido a que quienes emplean el TAF usualmente son dueños de la infraestructura y operan por cuenta propia (Chlistalla, 2011). No obstante, para implementar un sistema de TAF eficiente, es necesario incurrir en altos costos fijos, principalmente en lo relacionado con ubicarse físicamente cerca de los mercados, lo que permite obtener algunos segundos de ventaja, que son clave en esta forma de operar, y con el diseño del software (Sáenz, 2012; Ontiveros et al., 2012; Miño, 2015; Zhang, 2010). Dado que los usuarios del TAF suelen tener un importante poder financiero, estos costos fijos no son una barrera de entrada para ellos, pero sí para otros posibles usuarios. Por consiguiente, solo un 2 % de los operadores registrados en el NYSE utilizaban el TAF en 2010, pero el volumen de operación de estos usuarios representa una importante participación en los mercados en donde opera. Entre los usuarios habituales del TAF, se encuentran los bancos de inversión y las empresas especializadas, así como algunos *brokers* que tienen acceso a tecnología avanzada (Gomber et al., 2011).

### 1.1 Estrategias del TAF

El TAF es un instrumento que permite el arbitraje, aprovechando los avances tecnológicos, el acceso directo a los mercados y la alta velocidad al operar; lo que da lugar a estrategias

<sup>2</sup> “El tiempo que tarda una orden desde que entra hasta que sale y se ejecuta” (Chlistalla, 2011).

de inversión que de otra forma no serían posibles de llevar a cabo (Ontiveros et al., 2012; Chlistalla, 2011; Jones, 2013). El *arbitraje* es la acción de comprar y vender divisas, títulos o materias primas con el objeto de conseguir un beneficio económico por realizar estas transacciones, entre sus características se encuentran que puede emplearse en uno o varios mercados y que puede realizarse en forma simultánea, o en distintos momentos (Berk y De-Marzo, 2008; Brealey et al., 2010; Kozikowsky, 2007; King et al., 2011).

Una estrategia del TAF es la *creación de mercado*, que consiste en desplegar órdenes<sup>3</sup> con el objeto de comprar y vender, a cierto precio y de forma continua, obteniendo un beneficio por la diferencia entre los precios de compra y venta, y contribuyendo a asegurar la liquidez del mercado. Una crítica a esta estrategia es que, si bien, ha aumentado los volúmenes de operación, no necesariamente ha ocurrido lo mismo con la liquidez, es decir, ha aumentado el número de órdenes pero no la cantidad de dinero en las transacciones, ya que lo que ha sucedido es que se maneja la misma cantidad de dinero pero ahora se ha dividido entre más órdenes lo que no contribuye positivamente a los mercados donde participa; además de contribuir a la disminución de los márgenes de ganancias (es decir, la ganancia obtenida por el diferencial de precios entre la transacción de las órdenes) el aumento en la velocidad de las operaciones (Hernández y Sánchez, 2017; Rijper et al., 2010; Gomber et al., 2011; Jones 2013).

El *arbitraje estadístico* es otra estrategia usada por los operadores del TAF, que consiste en identificar y aprovechar las ineficiencias en la fijación de los precios, provocada regularmente por errores temporales, para obtener un beneficio. Esta estrategia ha podido aprovechar las discrepancias temporales de fracciones de segundo en los precios gracias a las computadoras, la velocidad de procesamiento del TAF y su rápida conexión. Una variante de esta estrategia es el *cross asset, cross market and exchanged trade fund*, en donde los operadores del TAF comercian e intercambian instrumentos con el objeto de obtener una ganancia producida por las ineficiencias de los mercados (Gomber et al., 2011; Jones 2013; Rijper et al., 2010).

Otra estrategia es el *Latency Arbitrage*, en la cual el operador del TAF trata de ser el primero en observar, interpretar y reaccionar a la información emitida por el mercado antes que sus competidores. Esta estrategia se ha criticado por que se considera que el TAF tiene ventaja frente a sus competidores, ya que se aprovecha del acceso rápido a los mercados y de la tecnología con la que cuenta. También se encuentra la estrategia de *detección de liquidez*, donde el TAF detecta y analiza los patrones que dejan los otros operadores y con base en ello, diseñan y ejecutan acciones. Asimismo, está la estrategia de *impulso en el corto plazo* que consiste en determinar las tendencias, movimientos o eventos que afectan al mercado, y, con base en ellos, comerciar agresivamente (Gomber et al., 2011).

Otras estrategias que han surgido con el TAF son: la *táctica de guerrilla*, en la cual varios operadores del TAF emiten una gran cantidad de órdenes por un lapso de tiempo y aprovechan esto para obtener una ganancia; el *directional trading*, que consiste en analizar las noticias, y, con base en ellas, reaccionar en segundos; y el *Quote Stuffing*, que consiste en enviar una gran cantidad de pedidos y retirarlos rápidamente (Jones, 2013; Sáenz, 2012).

3 “Despliegue de títulos para comprar y vender a un precio determinado diferentes instrumentos financieros u otros objetos en los mercados, existiendo diferentes tipos y que pueden variar de un mercado a otro” (Hernández y Sánchez, 2017).

## 1.2 Impacto del TAF en los mercados

Sobre las posibles repercusiones que ha tenido el TAF en los mercados, un tema que se ha discutido es su participación en el *Flash Crash* de 2010. Debido a que no hay evidencias concluyentes sobre lo sucedido ese día, aún existen posiciones encontradas sobre la contribución del TAF en este fenómeno. Por una parte, la *Commodity Futures Trading Commission (CFTC)* y la *Securities and Exchange Commission (SEC)* concluyeron que el TAF no tuvo una relación directa en ello; pero, al mismo tiempo, una hipótesis afirma que el TAF amplificó un bucle de retroalimentación positiva, magnificando el impacto de esta anomalía. De forma similar, se ha sugerido un impacto del TAF en los mini *Flash Crashes* que se han presentado en varios mercados, como el del cacao, el algodón y el *FOREX*, pero no existe evidencia contundente que señale al TAF como su causante (Chlistalla, 2011; Sáenz, 2012; Sornette y Der Becke, 2011; Kirilenko, et al., 2017; Jones, 2013; Chordia et al., 2013).

Paralelamente, se ha señalado que el TAF no proporciona liquidez a los mercados en periodos de volatilidad,<sup>4</sup> y, que en ocasiones, la incrementa; que se favorece de la estructura de tarifas de algunos mercados y de las estrategias de relleno; que ha cambiado drásticamente las reglas de los mercados; que tiene una ventaja desleal por la velocidad de sus operaciones; que opera de manera agresiva; que, al ser un algoritmo, no toma en consideración las repercusiones de sus acciones; que ha aumentado la cantidad de operaciones, pero que cada una tiene un valor pequeño, ocasionando un aumento en el volumen de las operaciones, pero no en la liquidez; y que, como sus posiciones duran fracciones de segundos y no mantiene posiciones abiertas al final del día, los operadores del TAF no están dispuestos a absorber pérdidas o a mantener grandes posiciones por un periodo de tiempo mayor (Kirilenko, et al., 2017; Rijper et al., 2010; Sornette y Der Becke, 2011; Chordia, et al., 2013; Sáenz, 2012; Zhang, 2010; Jones, 2013).

Por otro lado, también hay quienes argumentan que el TAF mejora la calidad y la liquidez de los mercados, lo que disminuye la volatilidad de los mismos. También, se le atribuye el fungir como creador de mercado y proporcionar liquidez; lo que ayuda a descubrir precios, reducir costos de transacción y mejorar la eficiencia de los mercados (Rijper et al., 2010; Kaya, 2016; Gomber, 2011). En este sentido, Ericsson y Fridholm (2013) concluyen que el TAF ha causado un aumento en el volumen de las operaciones en el mercado de valores sueco. Mientras que Jones (2013) sostiene que las complicaciones que causa el TAF son parecidas a las ocasionadas por los operadores tradicionales. Adicionalmente, quienes defienden al TAF argumentan que ya se había presentado un evento como el *Flash Crash* en 1962, mucho antes de la aparición del TAF (Sornette y Der Becke, 2011).

Considerando los argumentos, tanto en contra, como a favor, se han propuesto distintas iniciativas para legislar el TAF, algunas de ellas consideran: impuestos por transacción, designar obligaciones de cotización, requerimientos para conservar un tiempo mínimo las posiciones, e imponer un tiempo límite para realizar operaciones (Rijper et al., 2010). No obstante, se han criticado estas propuestas ya que pueden restringir la aparición de nuevos operadores del TAF o deteriorar la eficiencia de los mercados; de manera que es importante adoptar un

<sup>4</sup> Se ha dicho que en periodos de alta volatilidad los operadores del TAF no proporcionan liquidez sino es un tomador de liquidez, es decir, en lugar de inyectar capital a los mercados donde opera, lo retira cuando hay una alta volatilidad lo que perjudica a los mercados en los que participa (Rijper et al., 2010).

enfoque funcional, buscando evitar un daño a los mercados u ocasionar una competencia desnivelada (Gomber et al., 2011; Kumiega et al., 2016; Kaya, 2016).

## 2. Metodología

La metodología propuesta tiene como objetivo comparar el desempeño de distintas estrategias de inversión en el mercado FOREX, a través de operaciones de alta frecuencia y estrategias tradicionales. Para ello, la investigación planteada es de tipo cuantitativa y de series tiempo (Ollivier y Thompson, 2017).

Para este fin se propone un modelo de trading algorítmico (TA), que comprará divisas cuando su precio baje y las venderá cuando su precio suba, por lo cual la estrategia empleada se clasifica como arbitraje estadístico (Gomber et al., 2011; Jones 2013). El modelo de TA se basa en la desviación estándar móvil muestral, ya que al alterarla cambia la frecuencia de órdenes emitidas y ejecutadas, así se podrá emplear la estrategia de arbitraje estadístico en alta frecuencia o en su modalidad tradicional con el mismo TA. La diferencia entre las dos modalidades será la velocidad de emisión y ejecución de las órdenes. El modelo de TA propuesto se compone de dos fases: la primera estudia el mercado y emite la orden correspondiente (comprar, vender o mantener), sobre los logaritmos naturales del tipo de cambio observados en el mercado FOREX. La segunda fase, procederá a ejecutar dichas órdenes.

La primera fase del TA es donde se emplea la desviación estándar móvil muestral, la cual será con una  $n = 14$  días. La desviación estándar móvil muestral nace de la fórmula para estimar la desviación estándar muestral que se muestra en la Ecuación 1 (Anderson, et al., 2008; Sáez, 2012) pero se diferencia en que la desviación estándar móvil muestral se va recorriendo, conforme avance el número de periodos.

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

Donde:

$s_{n-1}$  = Desviación estándar.

$\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n-1}$  Varianza.

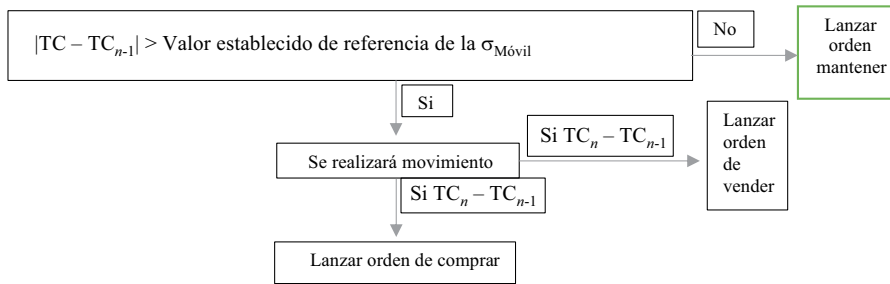
$x$  = Valor de la observación.

$\bar{x}$  = Media muestral.

$n$  = El número de las observaciones.

Una vez estimada la desviación estándar móvil muestral se multiplica por el valor que se ponga de referencia, es decir, puede ser  $.5\sigma$ ,  $1\sigma$  o dos veces la desviación estándar móvil muestral y es el valor que se usara para el criterio de decisión. Este criterio se basa en el supuesto de que las estrategias de alta frecuencia responden ante cambios menores en los precios, que las estrategias tradicionales, que toman utilidades cuando el margen de ganancia es claro (Figura 1).

**Figura 1**  
**Criterio de decisión en modelo de trading de alta frecuencia**



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 1 se expone el criterio de decisión del TA, donde, se muestra que el valor de la desviación estándar muestral que se establezca de referencia es el que se compara con la diferencia del tipo de cambio (tipo de cambio actual menos el tipo de cambio anterior). Si la diferencia de los tipos de cambio es mayor que la desviación estándar muestral establecida, el modelo de TA lanza la señal de compra y venta, según sea el caso. Asimismo, en las Ecuaciones 2, 3, 4 y 5, se desarrolla de forma matemática el criterio de decisión.

Función de movimiento. (2)

Dado que  $|TC_n - TC_{n-1}| < X\sigma_m$

$$f(Z) = 0$$

Donde:

$TC$  = Tipo de cambio actual.

$TC_{n-1}$  = Tipo de cambio del día anterior

$X\sigma_m$  = Desviación estándar muestral establecida de referencia.

0 = Mantener.

Luego en la Ecuación 3.

Dado que  $|TC_n - TC_{n-1}| < X\sigma_m$  (3)

Donde:

$TC$  = Tipo de cambio actual.

$TC_{n-1}$  = Tipo de cambio del día anterior.

$X\sigma_m$  = Desviación estándar muestral establecida de referencia.

Se define una nueva variable aleatoria, que se muestra en la Ecuación 4.

$$Z = TC_n - TC_{n-1} \tag{4}$$

La función de la nueva variable aleatoria  $Z$  se muestra en la Ecuación 5.

$$f(Z) = \begin{cases} -1 & z > 0 \\ 1 & z < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Donde:

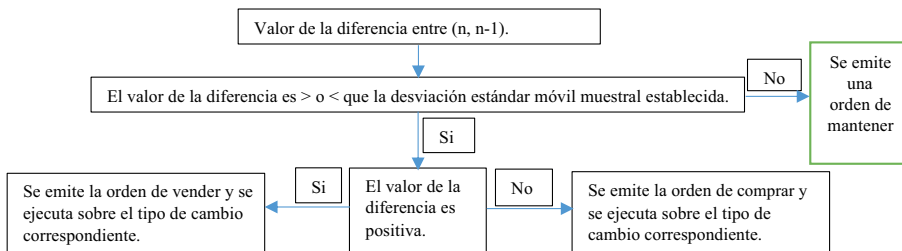
- 1 = vender
- 1 = comprar

Basándose en el criterio de decisión desarrollado en la Figura 1 y en las Ecuaciones 2, 3, 4 y 5, se crea la primera fase del modelo de trading algorítmico. Como se indicó, esta primera parte del TA debe programarse para que se pueda modificar el valor de la desviación estándar móvil muestral que se utilizará como referencia para el criterio de decisión. Lo anterior, debido a que al modificar la desviación estándar móvil muestral de referencia, se altera la frecuencia de órdenes emitidas y ejecutadas, lo cual modifica la modalidad de la estrategia y así puedan emplearse con el mismo TA el arbitraje estadístico en su forma tradicional y en su modalidad de alta frecuencia, ya que, por ejemplo, al emplear una desviación estándar móvil muestral pequeña de referencia, se incrementa el número de órdenes emitidas y ejecutadas, y esta se considera como que se emplea la estrategia de arbitraje estadístico en su modalidad de alta frecuencia. Por consiguiente, para esta investigación se emplean cuatro niveles para la desviación estándar móvil muestral: dos de ellas relacionadas con estrategias de alta frecuencia, es decir TAF (con valores de  $.5\sigma$  y  $1\sigma$ ), y, otras dos relacionadas con estrategias tradicionales (con valores de  $2\sigma$  y  $3\sigma$ ). Una vez emitida la orden, la segunda fase del modelo de TA llevara a cabo la orden emitida en el mercado FOREX. En la Figura 2, se expone el modelo de TA propuesto.

48

**Figura 2**  
**Estructura del modelo de trading algorítmico**

- Se emplea logaritmo natural ( $\frac{n}{n-1}$ ) (donde  $n$  = dato actual), para obtener el logaritmo natural.
- Se empleó una media móvil muestral de 14 días.
- Se empleó una desviación estándar móvil muestral de 14 días.
- Se añade una multiplicación para poder cambiar el valor de la desviación estándar móvil muestral.
- Se calcula la diferencia entre  $(n, n-1)$ .



Fuente: Elaboración propia.

Una vez creado el modelo de TA que permita emplear el arbitraje estadístico en alta frecuencia y en su forma tradicional, se procede a la simulación<sup>5</sup> de mil escenarios, con base en

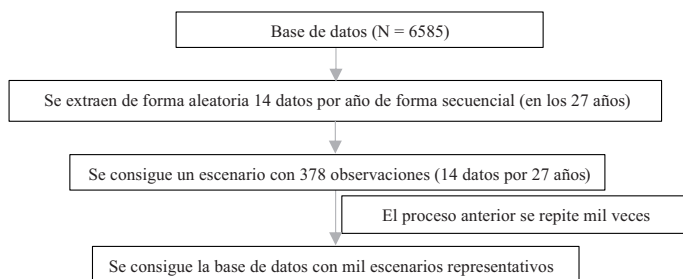
<sup>5</sup> “Acercamiento a la realidad a través de datos representativos que se obtuvieron por medio de la estadística y manteniendo sus propiedades o características originales” (Brealey, et al., 2010; Berk y DeMarzo, 2008).



los datos del tipo de cambio FIX peso-dólar con frecuencia diaria, correspondiente al período del 12 de octubre de 1991, al 24 de enero de 2018, obtenido de Banco de México. Para estas simulaciones se asume la propiedad escalante propuesta por Mandelbrot y Hudson (2010) para el análisis fractal de series financieras, que postula que los riesgos y las desviaciones en los precios conservan sus propiedades estadísticas en diferentes niveles de frecuencias.

Con esta información se lleva a cabo la simulación de escenarios, para lo cual se realizan mil repeticiones, con el objeto de que los resultados que se obtengan se consideren representativos y que incluyan los escenarios atípicos. El procedimiento para ello se presenta en la Figura 3, donde se muestra que, para ajustar la distribución de los resultados a la tendencia histórica natural del tipo de cambio, se optó por extraer los datos en forma secuencial por año.

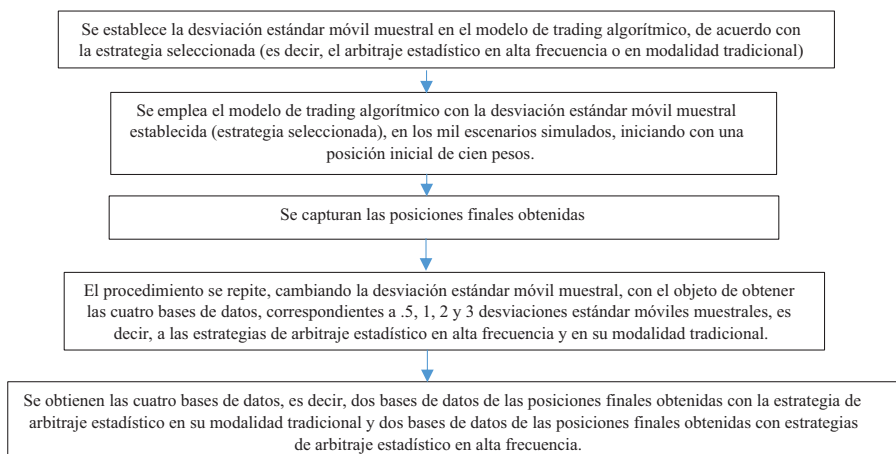
**Figura 3**  
**Procedimiento para la generación de escenarios**



Fuente: Elaboración propia.

Ya con el modelo de TA creado y con la base de datos generada, se prosigue con la aplicación de la estrategia de arbitraje estadístico en su forma tradicional y en su modalidad de alta frecuencia, con el objeto de comparar las posiciones finales obtenidas en cada caso; siguiendo el procedimiento expuesto en la Figura 4. En todos los casos se inició con una posición de cien pesos y no se contemplaron costos de transacción, por fines de practicidad.

**Figura 4**  
**Procedimiento para la generación de las cuatro bases de datos de las posiciones finales**



Fuente: Elaboración propia.

Una vez capturados los resultados simulados de cada estrategia, se obtienen los estadísticos descriptivos y las distribuciones de frecuencia, que permiten visualizarlos e interpretarlos de forma más clara, con lo cual se podrán comparar las posiciones finales obtenidas por medio de cada estrategia, además, se emplea una prueba de hipótesis de dos colas para comparar la media poblacional en el caso de  $\sigma$  desconocida la cual emplea una distribución  $t$ , se opta por esta prueba ya que se utiliza cuando se desconoce la desviación estándar poblacional, por lo cual, la muestra se emplea para conseguir una estimación de  $\mu$  y de  $\sigma$ , también porque se aplica para comprobar si las medias de dos muestras son estadísticamente diferentes o no y que también se emplea cuando la muestra es pequeña (Anderson, et al., 2008; Sáez, 2012).

La prueba de hipótesis se realizará entre cada una de las muestras obtenidas por medio de la estrategia de arbitraje estadístico en su modalidad de alta frecuencia y tradicional (es decir, por las diferentes desviaciones estándar móviles muestrales). Para llevar a cabo esta prueba primero se formulan las hipótesis correspondientes de cada comparación (hipótesis nula y alternativa), y se estima el valor (estadístico de prueba) con la Ecuación 6 (Anderson, et al., 2008, pág. 363), el cual se va a comparar con el valor correspondiente (valor crítico). El valor crítico se busca en las tablas de distribución, con un nivel de significancia del 5% y  $n-1$  grados de libertad. Por último, para aceptar o rechazar las hipótesis nulas ( $H_0$ ) o la hipótesis alternativa ( $H_0$ ) planteada en cada una de las pruebas de hipótesis, se utiliza el criterio de decisión mostrado en la Ecuación 7, extraída de Anderson, et al., 2008.

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s / \sqrt{n}} \quad (6)$$

Donde:

$\bar{X}$  = La media que se obtiene de la muestra.

$\mu_0$  = Media con la que se va a comparar.

$S$  = Desviación estándar obtenida de la muestra.

$n$  = Número de datos de la muestra.

Criterio de decisión, rechazar la  $H_0$  si:  $t \leq -t_{\alpha/2}$  o  $t \geq t_{\alpha/2}$  (7)

Donde:

$t$  = Valor del estadístico de prueba.

$-t_{\alpha/2}$  = Valor crítico (buscado en las tablas de distribución  $t$ ).

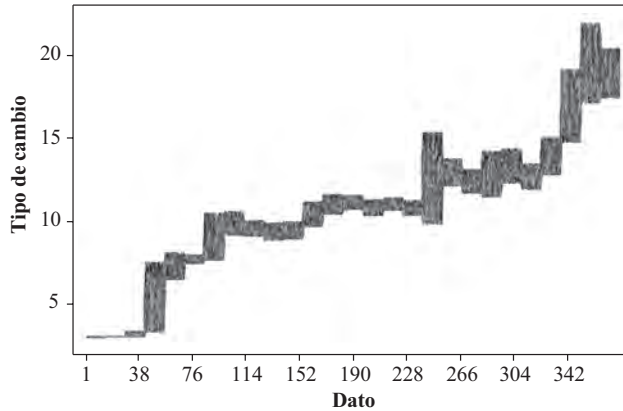
$t_{\alpha/2}$  = Valor crítico (buscado en las tablas de una distribución  $t$ ).

### 3. Resultados

Con el objeto de alcanzar el objetivo de la investigación, que es, comparar el desempeño de distintas estrategias de inversión en el mercado FOREX, a través de operaciones de alta frecuencia y estrategias tradicionales. Se realizaron las mil simulaciones del mercado FOREX de acuerdo con la metodología mostrada en la sección anterior, estas mil simulaciones se muestran en la Figura 5. Estas se cargaron en el modelo de TA empleando la estrategia de arbitraje estadístico en su modalidad tradicional y de alta frecuencia, para ello se usaron cuatro niveles de la desviación estándar móvil muestral: dos de ellas relacionadas con estrategias de alta frecuencia, es decir, arbitraje estadístico en alta frecuencia (con valores de  $.5\sigma$  y  $1\sigma$ ),

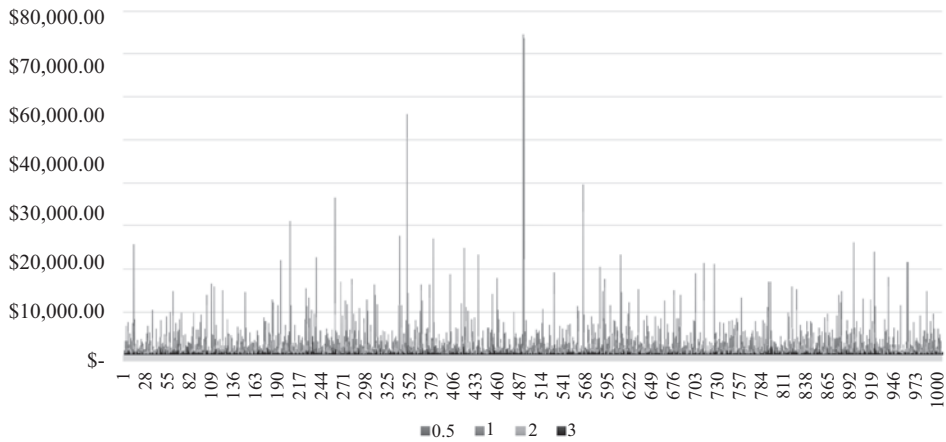
y, otras dos relacionadas con estrategias tradicionales o arbitraje estadístico en su modalidad tradicional (con valores de  $2\sigma$  y  $3\sigma$ ), los resultados obtenidos se muestran en la Figura 6.

**Figura 5**  
**1000 simulaciones del mercado FOREX**



Fuente: Elaboración propia con base en BANXICO (2018).

**Figura 6**  
**Resultados obtenidos al usar la estrategia de operación arbitraje estadístico en el modelo de TA en sus modalidades de alta frecuencia y tradicional**



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6 se aprecia que las estrategias de arbitraje estadístico en sus modalidades de alta frecuencia y tradicionales tuvieron diferentes niveles de desempeño. Los estadísticos descriptivos de los resultados obtenidos en las simulaciones se muestran en la Tabla 1, en donde se observa que el valor más alto de la media poblacional de las posiciones finales es \$3,838.49 pesos, y se obtuvo cuando se empleó la estrategia de arbitraje estadístico en moda-

lidad de alta frecuencia, con .5 desviaciones estándar móviles muestrales. Por el contrario, el valor más bajo es \$663.8 pesos, el cual se obtuvo cuando se empleó la estrategia de arbitraje estadístico en su forma tradicional, con 3 desviaciones estándar móviles muestrales.

**Tabla 1**  
**Resultados de las posiciones finales conseguidas empleando el arbitraje estadístico en su modalidad de alta frecuencia y en forma tradicional**

<i>Estrategia: arbitraje estadístico</i>	<i>Media poblacional</i>	<i>Desviación estándar poblacional</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
Alta frecuencia (0.5σ)	\$ 3,838.49	\$ 4,894.10	\$ 2,424.14	\$ 74,517.82	\$ 210.54
Alta frecuencia (1σ)	\$ 3,475.63	\$ 4,477.66	\$ 2,250.53	\$ 73,729.18	\$ 199.91
Tradicional (2σ)	\$ 1,690.57	\$ 1,696.73	\$ 1,232.64	\$ 22,331.10	\$ 130.03
Tradicional (3σ)	\$ 663.08	\$ 457.74	\$ 542.72	\$ 4,367.43	\$ 151.37

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en la Tabla 1 se aprecia que las mayores dispersiones en los resultados se presentan cuando las órdenes de compra o venta se emiten ante menores cambios en los precios, es decir, cuando se emplea el arbitraje estadístico en su modalidad de alta frecuencia; mientras que, al disminuir el volumen de operaciones, la desviación estándar de los resultados también es menor. Por último, puede verse que los valores máximos y mínimos obtenidos son más altos cuando se emplea el arbitraje estadístico en su modalidad de alta frecuencia, mientras que son menores cuando se utiliza en su forma tradicional, siendo la estrategia de .5σ la que obtuvo el valor máximo más alto, seguido en orden por las estrategias de 1σ, 2σ y 3σ. El mismo orden sucede en los valores mínimos, con excepción de la estrategia de 3σ que tiene un valor mínimo más alto que la estrategia de 2σ. También destaca que la estrategia de arbitraje estadístico en sus dos modalidades de alta frecuencia arrojó resultados similares, y, que estos, a simple vista, son diferentes a los conseguidos por medio de sus versiones tradicionales.

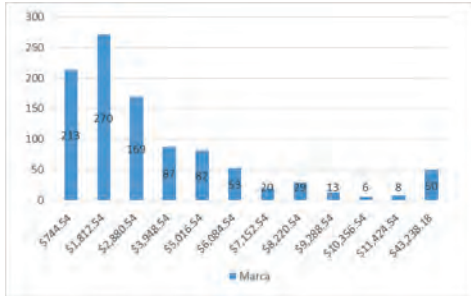
### **3.1 Distribuciones de frecuencia de la estrategia de arbitraje estadístico en su modalidad de alta frecuencia y en su versión tradicional**

#### **3.1.1 Modalidad de alta frecuencia**

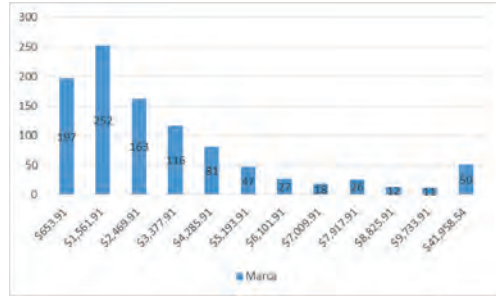
En la Figura 7 se muestran las distribuciones de los resultados obtenidos por medio de la estrategia de arbitraje estadístico en sus dos modalidades de alta frecuencia. Para las simulaciones con .5σ, la frecuencia más alta se presenta en la clase dos, con 270 observaciones y un valor de marca de \$1,812.54; lo que da lugar a que las dos primeras clases acumulen el 48% de las posiciones finales conseguidas. En cuanto a las simulaciones con 1σ, la frecuencia más alta también se presenta en la clase dos, pero en este caso, son 252 observaciones, y con un valor de marca de \$1,561.91. Igualmente, un porcentaje importante de los elementos se concentran en las dos primeras clases, siendo el 45 % de las observaciones.

**Figura 7**  
**Distribuciones de frecuencia obtenidas empleando la estrategia de arbitraje estadístico es sus modalidades de alta frecuencia**

0.5σ



1σ



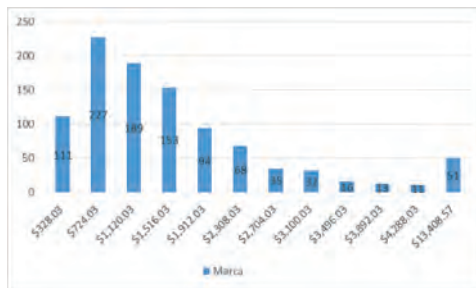
Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2 Modalidades tradicionales

Ahora, en la Figura 8 se presentan las distribuciones de los dos resultados que se obtuvieron mediante la implementación de las estrategias de arbitraje estadístico en sus versiones tradicionales. En las simulaciones con  $2\sigma$  la frecuencia más alta se observa en la clase dos que contiene 227 observaciones y que tienen un valor de marca de \$724.03 pesos; lo que ocasiona que el 34 % de las posiciones finales conseguidas se acumulan en las dos primeras clases. Por otro lado, en las simulaciones con  $3\sigma$  la frecuencia con el valor más alta también se presenta en la clase dos, sin embargo, en este caso solo contiene 196 observaciones, con un valor de marca de \$334.37 pesos; además, se encontró que, en este caso, los dos primeros escenarios contienen solo el 31 % de las observaciones.

**Figura 8**  
**Distribuciones de frecuencia obtenidas empleando la estrategia de arbitraje estadístico es sus modalidades tradicionales**

2σ



3σ



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Pruebas de hipótesis para comparar la estrategia de arbitraje estadístico en sus dos modalidades

Se observa que las posiciones finales obtenidas mediante la estrategia de arbitraje estadístico en sus modalidades de alta frecuencia ( $.5\sigma$  y  $1\sigma$ ), tienen resultados parecidos; los cuales, a su vez, son diferentes a las posiciones finales conseguidas a cuando se implementaron las versiones tradicionales ( $2\sigma$  y  $3\sigma$ ). También se encontró que la mayoría de las posiciones finales se acumularon en las dos primeras clases, aunque, cuando se usaron las modalidades de alta frecuencia, esta acumulación era mayor, en comparación a cuando se usaron las modalidades tradicionales; ya que, cuando se usó la estrategia de arbitraje estadístico en sus versiones de alta frecuencia, se concentraron cerca del 50 % de las posiciones finales, y cuando se implementaron las modalidades tradicionales, la acumulación se contrajo a un nivel aproximado del 30%.

Otra observación, es que, cuando se utilizó la estrategia de arbitraje estadístico en sus modalidades de alta frecuencia, el valor de las marcas fue mayor, en comparación a cuando se usaron las versiones tradicionales. El valor de las marcas más altas se encontró cuando se usaron  $.5\sigma$ , de ahí le siguieron en orden  $1\sigma$ ,  $2\sigma$  y  $3\sigma$  (este fenómeno es igual a lo observado en la Tabla 1, con la media poblacional, el valor máximo y el valor mínimo). Lo anterior permite afirmar, que, el valor de las posiciones finales obtenidas disminuye conforme se incrementó la frecuencia de órdenes emitidas y ejecutadas, estableciendo que la estrategia de arbitraje estadístico en sus modalidades de alta frecuencia ( $.5\sigma$  y  $1\sigma$ ) son las que obtuvieron valores más altos en comparación con las versiones tradicionales.

No obstante, aunque estas diferencias son apreciables a simple vista, es necesario efectuar las pruebas de hipótesis correspondientes, con el fin de evaluar si dichas diferencias son estadísticamente relevantes, o si son atribuibles a factores aleatorios. Los resultados de las pruebas de hipótesis de dos colas para comparar la media poblacional en el caso de  $\sigma$  desconocida, se utilizó para cotejar la media de las posiciones finales conseguidas al emplear la estrategia de arbitraje estadístico en sus modalidades de alta frecuencia ( $.5\sigma$  y  $1\sigma$ ) con sus versiones tradicionales ( $2\sigma$  y  $3\sigma$ ) y entre ellas, los resultados se exponen en la Tabla 2.

**Tabla 2**  
**Pruebas de hipótesis de las estrategias de operación**

<i>Estrategias comparadas</i>	<i>Hipótesis</i>	<i>t</i>	<i>Criterio de decisión</i>	<i>Hipótesis que se acepta</i>	<i>Resultados</i>
$.5\sigma$ con $1\sigma$	$= \$3,838.49$ $\neq \$3,838.49$	-2.56		$H_1$	
$.5\sigma$ con $2\sigma$	$= \$3,838.49$ $\neq \$3,838.49$	-40.03		$H_1$	
$.5\sigma$ con $3\sigma$	$= \$3,838.49$ $\neq \$3,838.49$	-219.37		$H_1$	
$1\sigma$ con $2\sigma$	$= \$3,475.63$ $\neq \$3,475.63$	-33.26	$t \leq -1.6409$	$H_1$	Ambas muestras son estadísticamente diferentes y dichas diferencias no pueden ser atribuibles a factores aleatorios.
$1\sigma$ con $3\sigma$	$= \$3,475.63$ $\neq \$3,475.63$	-194.30		$H_1$	
$2\sigma$ con $3\sigma$	$= \$1,690.57$ $\neq \$1,690.57$	-70.98		$H_1$	

Fuente: Elaboración propia.

Por los resultados expuestos en esta sección, se comprobó que las posiciones finales obtenidas mediante la estrategia de arbitraje estadístico en sus modalidades de alta frecuencia y en sus versiones tradicionales, son estadísticamente diferentes, y que dichas diferencias no son atribuibles a factores aleatorios. Por lo que, con base en los resultados previamente expuestos, puede afirmarse que la estrategia de arbitraje estadístico en sus modalidades de alta frecuencia, son eficaces para obtener mayor rentabilidad en las operaciones cambiarias.

## Conclusiones

El objetivo de la presente investigación fue comparar el desempeño de distintas estrategias de inversión en el mercado FOREX, a través de operaciones de alta frecuencia y estrategias tradicionales. El objetivo surgió debido al progreso que las nuevas tecnologías han tenido en el mercado FOREX, lo que ha traído nuevos riesgos y problemas, los cuales han sido poco investigados.

Para alcanzar el objetivo planteado, se creó un modelo de trading algorítmico (TA), que permitió usar la estrategia de arbitraje estadístico en alta frecuencia y en su modalidad tradicional, y, con ello obtener las posiciones finales de cada estrategia de operación, las cuales sirvieron para poder compararlas. Para el desarrollo del modelo de TA, se utilizó la desviación estándar móvil muestral la cual se empleó para crear el criterio de decisión debido a que, al alterarla, cambia la frecuencia de las órdenes de compra y venta que manda el modelo de trading algorítmico. De esta manera, se asumió como una estrategia de arbitraje estadístico en su modalidad de alta frecuencia, el uso de una desviación estándar móvil muestral pequeña ( $.5\sigma$  y  $1\sigma$ ), debido a que se emiten las ordenes de operación con mayor frecuencia; y, a la utilización de una desviación estándar móvil muestral grande, se asumió como el arbitraje estadístico en su versión tradicional ( $2\sigma$  y  $3\sigma$ ), ya que de esta forma las ordenes de operación se emiten de manera más espaciada.

Además, se simularon mil escenarios del tipo de cambio FIX, a partir de una base de datos que se obtuvo del sitio web del Banco de México. Esta base se utilizó para aplicar el modelo de TA y cotejar la efectividad de las estrategias comparadas. En todos los casos se inició con una posición de cien pesos, y se trabajó bajo el supuesto de que no existen costos de transacción.

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación, se encontró que las posiciones finales conseguidas implementando la estrategia de arbitraje estadístico en su modalidad tradicional y de alta frecuencia son estadísticamente diferentes. También, que el arbitraje estadístico en alta frecuencia genera mayores posiciones finales en comparación con la forma tradicional, y, que entre más alta es la frecuencia en los movimientos, las posiciones finales obtenidas son mayores. Por lo cual, se puede concluir que las estrategias de arbitraje estadístico en alta frecuencia generan mayores montos acumulados, en comparación con su forma tradicional, y, que entre mayor sea la frecuencia en los movimientos, mayor es la rentabilidad obtenida. Por lo anterior, se argumenta que las estrategias de alta frecuencia tienen un mejor desempeño en comparación con las estrategias tradicionales.

Los resultados obtenidos tienen implicaciones para los tomadores de las decisiones, ya que la evidencia indica que deben elegir y usar estrategias de alta frecuencia o con la frecuencia más alta en sus operaciones, debido a que les genera mayores posiciones finales. Por otro lado, para las autoridades implica que deben estudiar estas tecnologías con más cuidado, ya que es lógico predecir que su uso se seguirá incrementando. De este trabajo pueden surgir futuras líneas de investigación, como el replicar esta metodología considerando el costo entre las

transacciones, puesto que esto puede alterar los resultados presentados; o el uso de tradings algorítmicos que estén programados de diferente forma o usen otros parámetros. Por último, se sugiere ampliar el estudio a otros mercados financieros.

## Bibliografía

- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., y Williams, T. A. (2008). *Estadística para administración y economía*, México: Cengage Learning.
- Banco de México (BANXICO) (2018). Base de datos. Tipo de cambio Pesos por dólar E.U.A., Tipo de cambio para solventar obligaciones denominadas en moneda extranjera, Fecha de determinación (FIX). BANXICO. Fecha de consulta: 25/01/2018, 08:27:36. Recuperado de <http://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=C F102&locale=es>
- Berk, J., y DeMarzo, P. (2008). *Finanzas corporativas*, México: Pearson.
- Brealey, R., Myers, S., y Allen, F. (2010). *Principios de finanzas corporativas*, México: McGraw Hill.
- Chlistalla, M. (2011). “High-frequency trading, better than its reputation?”, Deutsche Bank Research, NA. Recuperado de <https://secure.fia.org/ptg-downloads/dbonhft2-11.pdf>
- Chordia, T., Goyal, A., Lehmann, B. N., y Saar, G. (2013). “High-Frequency Trading”, Johnson School Research Paper Series 20. Recuperado de SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2278347> o <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2278347>
- Ericsson, T., y Fridholm, P. (2013). High-frequency trading – impacts of the introduction of the INET platform on NASDAQ OMX Stockholm (Degree Thesis in Business Administration), Stockholm University, School of Business, Stockholm, Sweden. Recuperado de [http://www2.sbs.su.se/uppsats/uppsats/2012/Civil30/106/High\\_Frequency\\_Trading\\_CIVUPP\\_F\\_HT12.pdf](http://www2.sbs.su.se/uppsats/uppsats/2012/Civil30/106/High_Frequency_Trading_CIVUPP_F_HT12.pdf)
- Gomber, P., Arndt, B., Lutat, M. y Uhle, T. (2011). “High-Frequency Trading”, Goethe Universität, Frankfurt an Main. Recuperado de SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1858626> o <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1858626>
- Hernández, D. H., y Sánchez, K. C. (2017). “Un modelo de creación de mercado con trading de alta frecuencia”, ODEON, núm. 11, pp. 123-142. DOI: <https://doi.org/10.18601/17941113.n11.06>
- Huang, Y. C. (2012). “High-Frequency Trading (Technical Report No. UCB/EECS-2012-130)”, University of California, Berkeley. Recuperado de <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2012/EECS-2012-130.html>
- Jones, C. M., (2013). “What Do We Know About High-Frequency Trading?”, Columbia Business School Research Paper No. 13-11. Recuperado de SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2236201> o <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2236201>
- Kaya, O. (2016). “High frequency trading: Reaching the limits”, Deutsche Bank Research, NA. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/360921920/High-frequency-Trading-Reaching-the-Limits>
- King, M. R., Osler, C., y Rime, D. (2011). “Foreign exchange market structure, players and evolution”, Norges Bank, working paper, NA. Recuperado de <https://www.norges-bank.no/en/Published/Papers/Working-Papers/2011/WP-201110/>
- Kirilenko, A., Kyle, A. S., Samadi, M., y Tuzun, T. (2017). “The Flash Crash: The Impact of High Frequency Trading on an Electronic Market”, *Journal of Finance*, Forthcoming, vol. 72, núm. 3, pp. 967-998. DOI: <https://doi.org/10.1111/jofi.12498>
- Kozikowsky, Z. (2007). *Finanzas internacionales*, México: McGrawHill.
- Kumiega, A., Sterijevski, G. y Van Vliet, B. (2016). “Beyond the Flash Crash: Systemic Risk, Reliability, and High Frequency Financial Markets”, *Journal of Trading*, vol. 11, núm. 2, pp. 71-83. Recuperado de SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2712768>



- Mandelbrot, B. y Hudson, R. L. (2010). *Fractales y Finanzas, Una aproximación matemática a los mercados: arriesgar, perder y ganar*, España: Tusquets Editores.
- Miño, J. del R. (junio de 2015). “Análisis y comparativa de los sistemas automáticos de trading frente al trading discrecional”, Universidad Pontificia Comillas ICAI-ICADE, Facultad de ciencias económicas y empresariales. Recuperado de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/3703/TFG001100.pdf?sequence=1>
- Ollivier, J. Ó. y Thompson, P. I. (2017). *Guía para elaborar trabajos de investigación*, Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Ontiveros, E. B., Martín, Á. E., Navarro, M. Á., y Rodríguez, E. F. (2012). *Las TIC y el sector financiero del futuro*, Barcelona: Ariel.
- Pomar, L. C. (2017). *Monitorización de un sistema de mensajería de baja latencia (Tesis de maestría)*, Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, España.
- Rijper, T., Sprenkeler, W., y Kip, S. (2010). “HIGH FREQUENCY TRADING”, Optiver. Recuperado de <http://fragmentation.fidessa.com/wp-content/uploads/High-Frequency-Trading-Optiver-Position-Paper.pdf>
- Rosseti, P. J. (2010). *Introducción a la economía*, México: Alfaomega.
- Sáez, A. J. (2012). *Apuntes de estadística para ingenieros*, España: Universidad de Jean.
- Sáenz, G. A. (2012). “Progress vs security, High frequency Trading”, Msc Computing Systems Engineering, Politecnico di Milano.
- Sornette, D. y Der Becke, S. V. (2011). “Crashes and High Frequency Trading”, Swiss Finance Institute Research, núm. 11. Recuperado de SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1976249> o <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1976249>
- Zhang, X. F. (diciembre de 2010). “High-Frequency Trading, Stock Volatility, and Price Discovery”, Yale University, School of Management. Recuperado de SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1691679> o <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1691679>