



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

# LA NEGOCIACIÓN ALGORÍTMICA DE ALTA FRECUENCIA Y SU INCIDENCIA EN LAS ESTRATEGIAS DE MERCADO

Autora: Jimena Calleja Beltrán  
Directora: Esther Vaquero Lafuente

MADRID | Abril 2021

## **RESUMEN**

El propósito de este trabajo es realizar un estudio sobre la presencia y el impacto de la negociación algorítmica de alta frecuencia, con un especial énfasis en la incidencia de esta técnica de negociación en las estrategias financieras del mercado bursátil. Para ello, en primer lugar, se desarrollará un marco teórico sobre el funcionamiento y los orígenes de esta técnica, además de un análisis de la situación actual, comparando los mercados estadounidenses con los mercados europeos. En segundo lugar, se procederá a un estudio de las diferentes ventajas e inconvenientes del empleo de técnicas de alta frecuencia en base a estudios previos, eventos históricos del mercado bursátil, modelos y predicciones. En tercer lugar, se analizarán tanto la presencia como la incidencia en el mercado de las diferentes estrategias ejecutadas por medio de la negociación algorítmica. Por último, se realizará una valoración con respecto al futuro y desarrollos potenciales en la evolución de dichas técnicas.

**Palabras clave:** Negociación algorítmica de alta frecuencia, estrategias de mercado, tecnología financiera, algoritmos.

## **ABSTRACT**

The purpose of this paper is to carry out a study on the presence and impact of high-frequency trading, with a special emphasis on the incidence of this trading technique in financial strategies carried out in the stock market. To this end, firstly, the theoretical framework concerning the functioning and origins of this technique will be developed, as well as an analysis of the current situation, comparing the US and European markets. Secondly, the different advantages and disadvantages of the use of high-frequency techniques will be studied, through the use of previous studies, stock market events, models and predictions. Thirdly, both the market presence and incidence of the different strategies executed by means of algorithmic trading will be analysed. Finally, an assessment will be made regarding the future and potential developments in the evolution of these techniques.

**Key words:** High frequency trading, market strategies, financial technology, algorithms.

## ÍNDICE

1.	Introducción .....	6
1.1	Objetivos y marco conceptual .....	6
1.2	Metodología .....	7
2	Contexto .....	9
2.1	El funcionamiento de este tipo de negociación .....	9
2.1.1	Concepto .....	9
2.1.2	Tecnología .....	13
2.1.3	Plataformas y acceso .....	16
2.2	Presencia de la negociación algorítmica de alta frecuencia en los mercados estadounidenses y europeos .....	18
2.2.1	Presencia en Estados Unidos .....	19
2.2.2	Presencia en Europa .....	22
2.3	La actual y futura regulación .....	23
2.3.1	Esfuerzos regulatorios en Estados Unidos .....	23
2.3.2	Esfuerzos regulatorios en Europa .....	25
3	Ventajas e inconvenientes .....	28
3.1	Ventajas .....	28
3.1.1	Mejora de la eficiencia del mercado .....	28
3.1.2	Menor coste transaccional .....	29
3.1.3	Información en tiempo real .....	30
3.1.4	Mayor liquidez .....	30
3.1.5	Fomento de la tecnología .....	31
3.2	Inconvenientes .....	32
3.2.1	Volatilidad .....	32

3.2.2	Alteración del alto funcionamiento y sobrecargas: especial referencia al “Flash Crash” de 2010. ....	33
3.2.3	Abuso de mercado: pinging, quote stuffing, layering, spoofing .....	35
4	Las estrategias de la negociación algorítmica de alta frecuencia.....	39
4.1	<i>Market making</i> .....	40
4.2	Arbitraje .....	43
4.3	<i>Front running</i> .....	44
5	Perspectivas y estrategias de futuro .....	47
5.1	El futuro de la negociación algorítmica de alta frecuencia .....	47
5.1.1	Críticas y opinión pública .....	47
5.1.2	Propuestas de regulación .....	49
5.1.3	Rentabilidad futura .....	52
5.2	Nuevas tecnologías.....	53
5.2.1	Machine Learning .....	53
5.3	Estrategias de mercado alternativas ante restricciones regulatorias.....	55
5.3.1	Negociación automatizada basada en noticias (Automated News-Based Trading) 55	
6	Conclusión.....	56
	Bibliografía .....	58

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Porcentaje de negociación algorítmica sobre el volumen negociado total de cada activo financiero (por tipo de activo). .....	18
Gráfica 2: Porcentaje de negociación algorítmica sobre el volumen negociado total en Asia, Europa y Estados Unidos. ....	19
Gráfica 3: Algoritmo de creación de mercado .....	42

## 1. Introducción

### 1.1 Objetivos y marco conceptual

El objetivo de este trabajo es explorar el impacto, específicamente sobre las estrategias del mercado financiero, de una nueva técnica de negociación: la negociación algorítmica de alta frecuencia. Si bien esta técnica está cobrando especial presencia e importancia en los mercados europeos y estadounidenses, es todavía una incógnita para gran parte de la sociedad.

Si a comienzos del siglo XXI la ejecución de una orden bursátil en la Bolsa de Nueva York se realizaba en alrededor de unos veinte segundos, en la actualidad requiere menos de un segundo (López Jiménez, 2016). Puede parecer nimio detenerse en este detalle porque, hasta ahora, para el análisis financiero nunca había sido de especial interés o utilidad conocer la velocidad de ejecución de una orden bursátil. Realmente, en el mercado de la renta variable, siempre se ha atendido a criterios tales como el periodo de tenencia o el plazo de inversión, para poder así determinar el retorno a través de dividendos o a través de plusvalías.

El plazo medio de tenencia, al igual que la velocidad de ejecución, se ha ido reduciendo progresivamente, llegándose a normalizar incluso la negociación intradía. En estos últimos casos, ¿cuál es el interés subyacente del inversor, si la percepción de dividendos y/o de plusvalías requiere necesariamente un horizonte de inversión mayor?

Es aquí cuando la velocidad de ejecución cobra relevancia. En la negociación intradía lo que se busca es combinar diferencias de precio (de compra y venta) con un volumen (más o menos elevado en función de dicho diferencial) para generar ganancias. Para materializar este beneficio, sin embargo, se requiere una ejecución que sea casi instantánea, para lograr así cerrar posiciones al mismo precio deseado y actualizado del mercado con la menor latencia posible.

Fruto de esta búsqueda de beneficios, surge la negociación algorítmica de alta frecuencia, una técnica de negociación en la que la ventaja del inversor sobre el resto de sus competidores

radica, principalmente, en la calidad de la tecnología empleada, bien sea por la velocidad de ejecución de sus procesos (la denominada latencia), o por la sofisticación del algoritmo y de sus parámetros (Sánchez y Pineda, 2013).

La presencia de esta técnica de negociación ya ha sido objeto de un tenso debate (Fabozzi et al, 2011), ante voces que consideran que la tecnología y la automatización pueden crear nuevos riesgos y fomentar el abuso de los operadores frente a los participantes con menos recursos. Por otro lado, autores tales como Pérez (2011) o Biais y Foucault (2014), consideran que no supone un riesgo adicional al existente en el mercado, sino que solo aporta ventajas en la ejecución de estrategias, al permitir una mayor velocidad.

La realidad es que la negociación de alta frecuencia ya constituye una técnica principal en los mercados internacionales<sup>1</sup>. Por ello, resulta conveniente detenerse a analizar su integración en las estrategias tradicionales del mercado y su efecto en la creación de nuevas estrategias.

## 1.2 Metodología

Para la elaboración del presente trabajo se ha optado por un enfoque de investigación deductivo, desarrollado a partir de varios tipos de fuentes informativas en función de la cuestión objeto de estudio.

En primer lugar, para elaborar el marco conceptual y ahondar sobre los orígenes y desarrollo de la negociación algorítmica, se ha procedido a un uso de tanto fuentes académicas y literatura financiera, como de textos normativos y publicaciones e informes de entidades públicas y privadas.

En segundo lugar, para el análisis principal de los riesgos y la cuantificación del impacto de la negociación algorítmica de alta frecuencia en los mercados financieros, se ha optado

---

<sup>1</sup> En 2010 la negociación algorítmica de alta frecuencia representaba un total de 10%, 30% y 52% del total del volumen negociado en Asia, Europa y EE.UU. respectivamente (Arenillas, 2012).

mayoritariamente por analizar una variedad de estudios científicos, basados en la observación y el testeo. Tras la extracción de los descubrimientos más relevantes de cada uno, se ha procedido a comparar estas observaciones para extraer las conclusiones.

En tercer lugar, para el análisis de las proyecciones futuras de la negociación algorítmica de alta frecuencia, se han desarrollado tanto conclusiones propias basadas en la lectura de los textos normativos, como opiniones doctrinales de estudios científicos previos.



## 2 Contexto

### 2.1 El funcionamiento de este tipo de negociación

#### 2.1.1 *Concepto*

La Directiva 2014/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de mayo de 2014 relativa a los mercados de instrumentos financieros (en adelante “MiFID II”) proporciona una definición de la negociación algorítmica de alta frecuencia en su Considerando (61):

“Un tipo específico de negociación algorítmica es el constituido por la negociación algorítmica de alta frecuencia, en la que un sistema de negociación analiza a gran velocidad datos o señales del mercado y emite o actualiza, en respuesta a dicho análisis, un gran número de órdenes en un período de tiempo muy corto”.

Se trata, en definitiva, de una técnica de inversión en la que no se atiende a la solidez y salud financiera de las empresas ni a factores macroeconómicos, sino a la búsqueda y ejecución masiva automatizada de oportunidades transitorias de ganancia.

Es conveniente precisar, sin embargo, que la negociación algorítmica de alta frecuencia no constituye una estrategia de mercado en sí misma, sino una tecnología mediante la cual ejecutar dichas estrategias. Mediante esta técnica los *traders* pueden implementar tanto estrategias tradicionales del mercado (por ejemplo, la creación de mercado o el arbitraje) como estrategias específicas a la negociación algorítmica (por ejemplo, *spoofing* o *layering*).

El Considerando (61) continúa preceptuando que:

“(…) En particular, la negociación algorítmica de alta frecuencia puede contener elementos como la iniciación, generación, enrutamiento y ejecución de órdenes que son determinados por el sistema, sin intervención humana para cada negociación u orden, un plazo breve para establecer y liquidar posiciones, un elevado volumen de negocio diario por cartera, una

elevada ratio de órdenes de negociación intradía y jornadas de negociación que finalizan con posiciones netas neutras o poco significativas”.

De la citada definición podemos extraer una serie de elementos característicos de esta técnica de mercado.

(i) *Análisis a gran velocidad de datos o señales del mercado*

En primer lugar, como característica inicial, la información es procesada por unos algoritmos financieros informáticos. Estos algoritmos se basan en unos parámetros prefijados (mayoritariamente en torno al precio y a la cantidad) que determinan la ejecución de las órdenes de una forma completamente automatizada en cuanto las condiciones deseadas coincidan con las del mercado.

En este sentido, el empleo de unos algoritmos financieros que logren interpretar las tendencias y condiciones del mercado resulta clave. Mediante esta interpretación, los inversores que opten por la negociación algorítmica podrán adelantarse e introducir, a modo de respuesta y en atención a unos parámetros, órdenes de manera automática. Estos parámetros fijarán, a grandes rasgos, variables como el precio, la cantidad, o el momento de introducción de la orden el mercado (Sánchez y Pineda, 2013) para que, cuando se den las condiciones óptimas y prefijadas, se ejecute un gran volumen de órdenes en el menor tiempo posible.

Los algoritmos mediante los cuales se ejecutan las órdenes de mercado son diseñados por las propias plataformas que negocian con estrategias de negociación de alta frecuencia. Entre ellas, cabe destacar, a nivel internacional, ATD, Cisco, Citadel o Getco (entre otros). Por otra parte, los principales bancos de inversión (entre ellos, JP Morgan, Morgan Stanley, Goldman Sachs o BNP Paribas) ya cuentan con el uso de estrategias y algoritmos diseñados internamente para sus operaciones de negociación por cuenta propia (Authority for the Financial Markets, 2010).

(ii) *Elevado volumen de órdenes a corto plazo*

En segundo lugar, una pieza clave en la rentabilidad y oportunidad de esta técnica radica en la velocidad a la que se ejecutan las órdenes, elemento que resulta imprescindible para materializar la oportunidad identificada por el análisis automatizado. Los desarrollos en la tecnología bursátil han permitido que se pueda ejecutar una orden en 10 microsegundos; el equivalente a que, en el parpadeo de un ojo, se realizaran hasta 40.000 operaciones de compra y venta (El País, 2011).

En este sentido, cabe detenerse en el concepto del tiempo. Resulta razonable plantearse cuál es la velocidad en la que la ejecución de una orden pasa a ser considerada como parte de una técnica de negociación algorítmica de alta frecuencia.

A efectos de regulación europea, el legislador comunitario, en el Considerando 23 del Reglamento Delegado 2017/565 de la Comisión de 25 de abril de 2016 ha decidido optar por “el uso de umbrales cuantitativos absolutos basados en las tasas de mensajes”.

En este sentido, el Artículo 19 del citado Reglamento 2017/565 resuelve a tal efecto esta duda, al delimitar que:

“Se entenderá por elevada tasa de mensajes intradía, de conformidad con el artículo 4, apartado 1, punto 40, de la Directiva 2014/65/UE, la presentación, en promedio, de cualquiera de las dos cantidades siguientes:

- a) al menos **dos mensajes por segundo** con respecto a cualquier instrumento financiero negociado en un centro de negociación;
- b) al menos **cuatro mensajes** por segundo con respecto a todos los instrumentos financieros negociados en un centro de negociación”.

Por otro lado, además de la velocidad de ejecución, cobra especial importancia en la caracterización de esta técnica el elevado volumen de órdenes. Es otra de las variables fundamentales y determinantes de la rentabilidad en la negociación algorítmica de alta frecuencia, puesto que el resultado individual de la compra y venta, por pequeño que sea, se multiplicará en mayores ganancias en función de un mayor volumen de operaciones.

No obstante, no se puede asumir que el número de órdenes equivalga al número de operaciones realizadas. Mientras que una orden manifiesta la voluntad de negociar una cantidad determinada a un precio concreto, la operación supone la efectiva materialización de la negociación.

A diferencia de otras técnicas de negociación, en la negociación algorítmica de alta frecuencia los excesos de órdenes son habituales. Por ejemplo, en Australia, como indica Kirchner (2015), la proporción entre órdenes y operaciones realizadas es, de media, en torno al 13:1, pero ha llegado a alcanzar 1000:1.

A juicio de Kirchner (2015), esto se debe a que, con frecuencia, estas plataformas de negociación algorítmica pueden llegar a modificar o cambiar sus órdenes varias veces hasta que realmente se produzca la operación.

(iii) *Sin intervención humana*

Tanto la fijación de los parámetros de referencia, como la ejecución de las órdenes, se hace de forma automatizada por el sistema informático. Esto habilita la ejecución a la velocidad característica de esta negociación, por cuanto no requiere un *input* manual de una persona física, y, en consecuencia, permite ahorrar tiempo.

(iv) *Aprovechamiento de oportunidades de inversión*

Por lo que respecta a las estrategias, esta técnica de negociación se centra en aquellas que tienen por objeto aprovechar oportunidades de inversión en un brevísimo plazo, puesto que, como hemos visto, pueden ejecutarse transacciones en hasta 10 microsegundos. Entre ellas se incluyen estrategias preexistentes en el mercado como el arbitraje y la creación de mercado, además de estrategias específicas a este tipo de negociación.

Como se ha mencionado anteriormente, las pequeñas diferencias de precio y los reducidos márgenes permiten obtener ingresos sustanciales, por cuanto son combinados con un elevado número de operaciones (Sánchez y Pineda, 2013). Es por ello por lo que, para un mayor aprovechamiento de las oportunidades de inversión, resulta imprescindible la latencia baja en la transmisión y ejecución de las operaciones, cuyos aspectos técnicos serán analizados seguidamente.

### 2.1.2 *Tecnología*

El impacto de la tecnología sobre los mercados financieros es innegable. Ha revolucionado la mecánica de la negociación, permitiendo, en primer lugar, un flujo constante y actualizado de información, y, además, que los sujetos introduzcan órdenes de forma automática, procesadas a velocidades cada vez más reducidas (Alubankundi y Tapia, 2014).

Hay dos elementos que han permitido que la negociación de alta frecuencia exista como una técnica de negociación en el mercado (Agarwal, 2012):

- (i) **Latencia baja y arbitraje de latencia:** todo sistema o proceso informático experimenta una forma de retraso (o latencia) cuando se procesan datos u órdenes. Los desarrollos recientes en la tecnología financiera han permitido reducir este espacio de tiempo, asegurando un menor desfase y, con ello, una ejecución más inmediata para competir con los otros sujetos del mercado.

- (ii) **Sofisticación de algoritmos:** La negociación algorítmica de alta frecuencia se basa asimismo en una previa programación de las órdenes para provocar ejecuciones inmediatas en cuanto se cumplan los parámetros. Es por ello por lo que gran parte de las ganancias y del éxito de la negociación vendrán determinados por la sofisticación en el diseño y en la estrategia que se plasma en el algoritmo.

Una vez identificados los dos factores tecnológicos más importantes y característicos de la negociación algorítmica, cabe adentrarse en la tecnología detrás de cada uno de ellos.

En relación con la latencia baja, hay varios avances que han permitido la misma. Con todo, cabe decir que “baja” es un adjetivo relativo y temporal. En este sentido, los avances futuros pueden hacer que lo que en 2021 se considere como un plazo reducido, sea considerado como elevado en 5 años.

Sin ánimo de proceder a un análisis excesivamente técnico de estos métodos, cabe citar los factores que Agarwal (2012) considera que han contribuido a una reducción de este “retraso”:

- (i) la tecnología de fibra óptica, en sustitución de los tradicionales cables de cobre;
- (ii) el ancho de banda, puesto que incrementa la cantidad de información transmitida por segundo;
- (iii) los FPGAs (*Field Programmable Gate Arrays* o matrices de puertas reprogramables)
- (iv) los procesadores con núcleos múltiples, puesto que permiten el procesamiento simultáneo de varias órdenes, acelerando la velocidad del sistema informático.

En segundo lugar, junto a estos factores, resulta de extrema importancia la ubicación de los servidores en relación con la plataforma de negociación, mediante la denominada *co-location*.

Esta forma de reducir la latencia se concreta en situar el servidor informático del inversor que negocia de forma automatizada a la menor distancia posible de la plataforma de

negociación en la que operan (por ejemplo, los sistemas informáticos de las bolsas de valores en las que negocian).

De esta forma, a mayor proximidad a los sistemas informáticos de las bolsas, mayor será la capacidad de anticipación del inversor. Puesto que la información tiene una menor distancia que recorrer y la latencia se reduce, el empleo de *co-location* podrá asegurar que su orden se ejecute al precio deseado (sin sufrir variaciones durante el tiempo de procesamiento de la transacción) y con carácter prioritario a cualquier otro inversor.

El segundo elemento clave consiste en la elaboración u obtención de un algoritmo sofisticado. Poseer el algoritmo más inteligente y actualizado posible es, sin duda, junto a la velocidad de procesamiento, la ventaja competitiva más importante para el operador que emplee algoritmos de negociación de alta frecuencia.

En concreto, el citado informe de Agarwal (2012) precisa que los algoritmos se actualizan de forma constante por dos razones:

- (i) Permitir el reflejo más fiel y preciso de los cambios del mercado: cada algoritmo, como cualquier modelo o teoría, contiene una serie de presunciones sobre el mercado, susceptibles de variación y evolución. Por ello, como parte esencial de la construcción del modelo, las premisas subyacentes del algoritmo deben ser lo más precisas y exactas posibles durante cada periodo de negociación, siendo necesario, por tanto, su actualización constante.
- (ii) Protegerse frente a la llamada “ingeniería inversa”: cada versión del algoritmo tiene una vigencia limitada, en cuanto que los operadores competidores eventualmente podrán descifrar la estrategia programada mediante *reverse engineering* (ingeniería inversa). Una vez decodificada la estrategia del algoritmo, resulta inútil e incluso contraproducente emplearlo, en cuanto que los competidores podrán anticiparse a la actuación del operador y aprovecharse de esta información.

### 2.1.3 Plataformas y acceso

#### (i) España:

El Real Decreto Legislativo 4/2015, de 23 de octubre, por el cual se aprueba el texto refundido de la Ley del Mercado de Valores (en adelante “LMV”) contempla, en su artículo 143.1, las diferentes clases de empresas de servicios de inversión; (a) las sociedades de valores, (b) las agencias de valores, (c) las sociedades gestoras de carteras y (d) las empresas de asesoramiento financiero.

De entre ellas, solo las sociedades de valores pueden llevar a cabo la ejecución de órdenes por cuenta de clientes y la negociación por cuenta propia (crf. arts. 140.1 b) y c) y 143.2 y .3 LMV).

No obstante, además de las sociedades de valores, el artículo 145.1 confiere autorización expresa a las entidades de crédito para la ejecución de órdenes por cuenta de clientes y para la negociación por cuenta propia, “siempre que su régimen jurídico, sus estatutos y su autorización específica les habiliten para ello” (crf. art. 145.1 *in fine*).

Es por ello por lo que solamente los bancos y las sociedades de valores podrían estar facultadas para participar en la negociación algorítmica de alta frecuencia, ya sea mediante la ejecución de órdenes por cuenta ajena o por cuenta propia.

Sin embargo, por la propia naturaleza de la operación y la complejidad e infraestructura necesaria, la mayoría de las operaciones se realizan por cuenta propia. En este sentido, cabe citar de nuevo el Considerando 61 de la Directiva MiFID II, que concluye que “la negociación algorítmica de alta frecuencia suele ser utilizada más bien por operadores que negocian por su propio capital”.

Sánchez y Pineda (2013) disponen al efecto que “los operadores principales de HFT (*high frequency trading* o negociación algorítmica de alta frecuencia), se caracterizan



esencialmente por actuar por cuenta propia, no por cuenta de clientes, y utilizar su propia capital”.

Asimismo, consideran que en cuanto que la rentabilidad depende de la obtención de ganancias mediante estrechos márgenes y el uso de una infraestructura de negociación, “es característico que los operadores de HFT realicen fuertes inversiones en tecnología, con las cuales poder aprovechar economías de escala” (Sánchez y Pineda, 2013).

## (ii) Estados Unidos

La presencia de firmas de negociación de alta frecuencia es sustancialmente más importante en el mercado estadounidense, líder, como se verá posteriormente mediante estadísticas, en el uso de la negociación algorítmica sobre el resto de los mercados financieros.

Frente al fuerte componente financiero y regulado que se observa en las empresas de inversión en España y en Europa, las plataformas de negociación algorítmica más importantes en EE.UU. se asemejan más a empresas emergentes (muchas siguen modelos semejables a *startups* tecnológicas) que a una entidad financiera o a cualquier sociedad de valores (Lewis, 2015).

En concreto, en 2010, se creó una categoría específica de operadoras llamadas *Proprietary Trading Firms (PTFs)*, provenientes de la *Futures Industry Association* (Lewis, 2015). Entre ellas, se incluyen GETCO, IMC y Jump Trading.

En segundo lugar, junto a estas firmas, conviven también los *hedge funds* y bancos de inversión, aunque con menos actividad. Esto es porque, a diferencia de las *PTFs*, que utilizan sus propios fondos, este segundo grupo utiliza fundamentalmente los fondos de sus clientes, con la consecuencia de contar con menos flexibilidad y menor inversión en el desarrollo interno de la tecnología.

### (iii) Conclusión

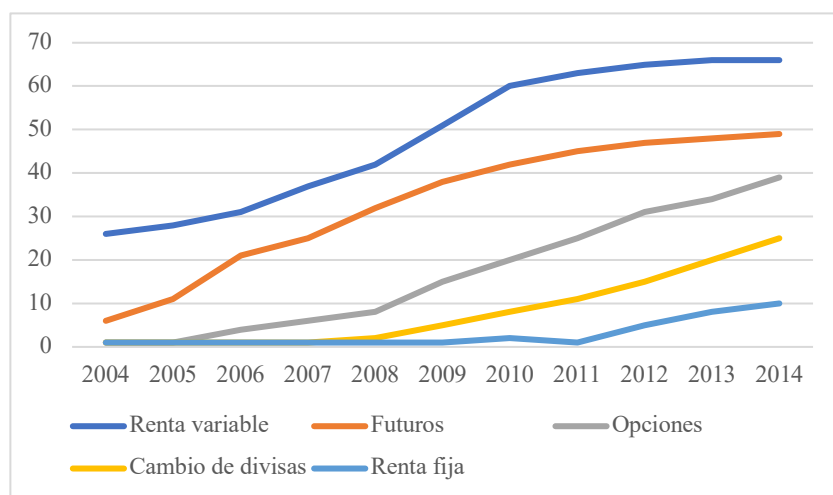
Con todo, en ambos mercados se puede ver que el acceso a este tipo de negociación está muy limitado para los particulares. En este sentido, gran parte del acceso restringido se debe a que las propias características e infraestructura necesarias para obtener la competitividad requerida son demasiado elevadas y complejas como para permitir que la negociación algorítmica sea una práctica común entre los particulares.

#### 2.2 Presencia de la negociación algorítmica de alta frecuencia en los mercados estadounidenses y europeos

El origen de la negociación algorítmica de alta frecuencia se encuentra en el mercado estadounidense de derivados de la década de los noventa (Gomber, 2011). Hoy en día, esta técnica de negociación está presente en los principales mercados y representa un creciente porcentaje del volumen total de negociación.

Las siguientes gráficas detallan el porcentaje histórico y pronosticado (en 2012) del total de operaciones en las que interviene la negociación algorítmica de alta frecuencia.

**Gráfica 1: Porcentaje de negociación algorítmica sobre el volumen negociado total de cada activo financiero (por tipo de activo).**



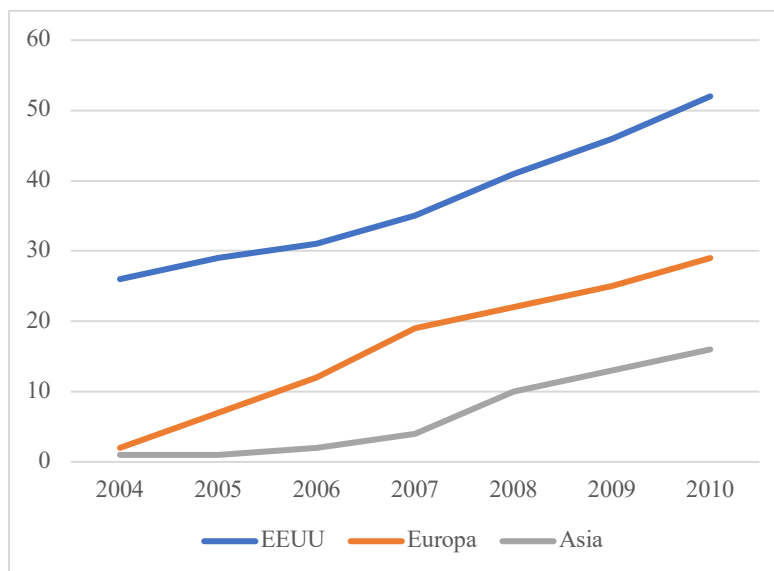
Fuente: Arenillas (2012).

Como se puede apreciar en la gráfica, hay diferentes tipos de mercados y de activos que son objeto de negociación algorítmica de alta frecuencia, siendo el mercado de renta variable el que más destaca en el *trading* automatizado.

Asimismo, el mercado de opciones y de divisas experimentaron un crecimiento rápido, e incluso, la renta fija, mercado en el que tradicionalmente el empleo de esta técnica ha resultado muy poco frecuente, está incrementando su uso.

A su vez, el desglose geográfico por mercado es el siguiente:

**Gráfica 1: Porcentaje de negociación algorítmica sobre el volumen negociado total en Asia, Europa y Estados Unidos.**



Fuente: Arenillas (2012).

### 2.2.1 Presencia en Estados Unidos

Como se ha mencionado con anterioridad, fue en los años noventa cuando la negociación algorítmica de alta frecuencia comenzó a tomar presencia en los mercados estadounidenses, concretamente en el mercado de derivados. No obstante, su origen se puede atribuir a la implementación por Asociación Nacional de Agentes de Valores (NASD) de un sistema de creación de mercado automatizado (AQ), formando lo que hoy en día es NASDAQ.

Dicho sistema, implementado a finales de los setenta, permitió por primera vez la negociación automatizada en la bolsa electrónica (Gomber, 2011).

Cabe detenerse en la plataforma Instinet (*Institutional Network*), la primera empresa del mundo que habilitó el corretaje (*brokerage*) electrónico. Dicha habilitación supuso una importante novedad en el mercado, en cuanto que permitía, al igual que en la Bolsa de Nueva York, la negociación impulsada por órdenes, pero, además, de forma anónima y sin la necesidad de la contratación de un bróker (Arnuk y Saluzzi, 2012).

En esencia, permitía que los gestores de activos negociasen valores cotizados en una red privada. A juicio de los citados autores, esto fue recibido gratamente por los gestores de fondos institucionales (los usuarios “estrella” para Instinet) puesto que permitía que sus órdenes se negociaran con más libertad y control directo.

Sin embargo, la naturaleza de la plataforma empezó a cambiar con la llegada de un nuevo tipo de *traders*, que, a cambio del acceso a la información guardada en la base de datos de Instinet, prometían la ejecución de un gran volumen de órdenes. A Instinet le convenía la presencia de estos usuarios, en cuanto que el volumen que estos sujetos proporcionaban a la plataforma ayudaba a Instinet de cara a su credibilidad y atractivo para los gestores de fondos (Arnuk y Saluzzi, 2012).

Sin embargo, como argumentan estos autores, la convivencia simultánea de los *traders* automatizados y de los fondos pronto se tornó problemática. En cuanto los gestores introducían una orden de compra determinada, en pocos segundos las firmas especializadas en negociación automatizada replicaban la misma orden a un precio ligeramente superior. Aquí fue cuando nació la negociación algorítmica de alta frecuencia.

Como respuesta a este problema, la SEC promulgó el Reglamento de ATS (*Alternative Trading Systems* o Sistemas Alternativas de Negociación) en 1998, que obligaba que todas las órdenes fuesen realizadas conforme a una cotización pública (Securities and Exchange Commission Historical Society, s.f.). El objetivo era evitar que coexistieran dos precios; las

cotizaciones públicas y los precios ocultos y manejados por los usuarios de estas plataformas privadas.

El diferencial entre las órdenes se redujo, y creció, en consecuencia, la competitividad de los sistemas alternativos de negociación, que necesitaban tener la mayor velocidad posible para poder conseguir una ventaja sobre el resto del mercado.

Pese a ello, la negociación algorítmica de alta frecuencia no dejó de crecer. Si a principios del siglo XXI el 10% de las órdenes en los mercados de renta variable de EE.UU. provenían de operaciones llevadas a cabo mediante tecnología de alta frecuencia, en 2010 la base de datos de Brogaard (2010) de NASDAQ registraba una presencia del 68% sobre el total del volumen negociado en dólares.

No obstante, tras los efectos de la crisis financiera y la regulación de la Autoridad Financiera Regulatoria en EE.UU., el porcentaje de operaciones negociadas con uso de esta tecnología sobre el total de operaciones ha ido disminuyendo (O'Connell, 2019).

En efecto, el informe de Miller y Shorter (2016), elaborado para la Biblioteca del Congreso de EE.UU., constataba que la negociación algorítmica de alta frecuencia representaba el 55% del volumen de la renta variable negociada en la bolsa estadounidense, frente al 68% registrado en 2010.

En este sentido, durante los últimos diez años, las autoridades regulatorias de EE.UU. se han encargado de “rellenar” los vacíos legales que en un momento hicieron posible una proliferación descontrolada de negociación automatizada (O'Connell, 2019).

En concreto, la Comisión de Bolsa y Valores estadounidense (en adelante “SEC”), la Comisión de Negociación de Futuros sobre Materias Primas (en adelante “CFTC”) y la Autoridad Financiera Regulatoria (en adelante “FINRA”) ahora ejercen funciones de supervisión y cumplimiento sobre las plataformas de negociación algorítmica de alta frecuencia, contemplando sanciones ante intentos de manipulación de mercado.

### 2.2.2 *Presencia en Europa*

El informe de Miller y Shorter (2016) al que antes se aludía, atribuye a la negociación algorítmica de alta frecuencia una presencia del 40% sobre el total del volumen negociado en el mercado de renta variable en Europa.

Se constata por tanto una menor popularidad de esta técnica de negociación en los mercados europeos. No obstante, los cambios producidos en la estructura macro y microeconómica de Europa tras la implementación de la Directiva MiFID I en 2007 propiciaron un incremento de esta negociación (Authority for the Financial Markets, 2010).

En cuanto al desglose por el tipo de operador, en 2014 los bancos de inversión negociaban el 61% del valor total negociado mediante técnicas algorítmicas de alta frecuencia, mientras que las plataformas especializadas en negociación algorítmica negociaban un 24% (ESMA, 2014). Sin embargo, en lo concerniente al número de órdenes introducidas, las plataformas especializadas son responsables de un 58% sobre el total de órdenes introducidas mediante tecnología algorítmica de alta frecuencia, y los bancos de inversión de un 39%.

En conclusión, mientras que los bancos de inversión muestran una mayor participación en la negociación algorítmica de alta frecuencia en términos del valor total negociado, las plataformas de negociación introducen un mayor número de órdenes, pero de menor valor.

## 2.3 La actual y futura regulación

La creciente y notoria presencia de la negociación de alta frecuencia en los mercados ha sido abordada por las autoridades regulatorias, abriendo con ello un debate sobre la conveniencia de intervenir o no en la operativa de esta tecnología.

### 2.3.1 *Esfuerzos regulatorios en Estados Unidos*

En cuanto a las autoridades competentes, cabe remarcar que, en el mercado de futuros, swaps y opciones, la CFTC supervisa directamente la negociación algorítmica, y que el mercado de valores es supervisado por la SEC (Miller y Shorter, 2016).

En lo concerniente a la evolución regulatoria y legislativa de este tipo de negociación, cabe mencionar, en primer lugar, que ha sido más pasiva y dispersa que la implementada en Europa. Como se verá más adelante, propuestas legislativas estadounidenses en relación con la negociación automatizada han sido revocadas en los últimos años, en fuerte contraste con la Directiva MiFID II, que articula un marco normativo uniforme los países comunitarios.

En este sentido, y de forma paradigmática, el incremento de la cuota de negociación de la negociación algorítmica de alta frecuencia durante la década de los 2000 puede ser atribuida, en parte, a la regulación estadounidense de los mercados.

En concreto, la RegNMS (*Regulation National Market System*) promulgada por la SEC en 2005 para modificar la Securities Exchange Act (en adelante “SEA”) de 1934, introduce la Norma de Protección de Órdenes (“*Order Protection Rule*”) en la Regla 611.

Mediante la *Order Protection Rule*, se prohibió la ejecución de operaciones a precios inferiores a las cotizaciones “protegidas” de otros centros de negociación (SEC, 2008). La consecuencia indirecta de esto fue que los *traders* podían observar las tendencias en una bolsa y capitalizar sobre ellas antes de que el efecto del precio se igualara en otras bolsas, lo que fomentó la proliferación de plataformas de negociación de alta frecuencia.

Sin embargo, esta tendencia regulatoria pasiva se revertió tras la crisis financiera y tras la correspondiente respuesta legislativa que vino de la mano de la Ley Dodd-Frank en 2010. Su promulgación modificó el *Commodity Exchange Act* por medio del artículo 747, para prohibir de forma expresa la ejecución de prácticas de negociación disruptivas, entre las que se incluyen conductas que quebranten ofertas y la falsificación (*spoofing*) voluntaria e intencionada (crf. artículo 747).

De esta forma, se prohíbe cualquier tipo de *spoofing*, esto es, la realización de una oferta con la intención de cancelarla inmediatamente antes de su ejecución; una clara respuesta a la negociación algorítmica de alta frecuencia, que venía utilizando de forma intensiva esta técnica.

En lo concerniente al mercado de futuros, opciones y swaps, en diciembre de 2015, la CFTC propuso el reglamento *Regulation AT* (Regulación para la Negociación Automatizada) con el fin de regular ciertos aspectos de la negociación algorítmica de alta frecuencia, pero sin aludir expresamente a ella.

En un comunicado del 24 de noviembre de 2015, el presidente de la CFTC, Timothy Massad, expresó que su propósito era minimizar el potencial de disrupciones y de problemas operacionales que podrían surgir de las órdenes automatizadas y de algoritmos defectuosos (CFTC, 2015).

De conformidad con el citado discurso, las implicaciones concretas de esta propuesta de regulación eran las siguientes:

- (i) El establecimiento obligatorio de sistemas de control de riesgos para las bolsas, para las firmas y cámaras de compensación y para las empresas que negocian altos volúmenes de valores a cuenta propia.
- (ii) Proponer el registro de inversores por cuenta propia que estén involucrados en negociación algorítmica en bolsas oficiales mediante el Acceso Directo Electrónico (es decir, la formulación de órdenes directamente en la base electrónica de la bolsa, en sin la intermediación de un bróker).



En 2015 la SEC propuso, siguiendo la estela de la Directiva MiFID II en Europa, que ciertos *bróker - dealers* de negociación algorítmica de alta frecuencia se registraran en FINRA, organismo regulatorio financiero supervisado por la SEC (Rockas y Tuchman, 2015).

En conclusión, se puede apreciar un creciente esfuerzo desde los organismos supervisores y regulatorios en EE.UU. Si en un principio el *lobbying* frenó las iniciativas para limitar la negociación algorítmica, con la crisis financiera y la promulgación de Dodd-Frank fue casi inevitable evadir esta laguna que podía agravar la existente inestabilidad y desconfianza del mercado.

### 2.3.2 *Esfuerzos regulatorios en Europa*

Los esfuerzos por regular este tipo de negociación en Europa se contienen primordialmente en la Directiva MiFID II, a cargo de la Autoridad Europea de Valores y Mercados (en adelante “ESMA”). Lo cierto es que, pese a una menor presencia en el mercado, Europa está por delante de EE.UU. en lo que concierne a la regulación de la negociación algorítmica.

Es más, como se ha podido comprobar anteriormente, el artículo 4 de la Directiva MiFID II proporciona una definición concreta para la negociación algorítmica, estableciendo como rasgos identificativos de la misma la velocidad, la ausencia de intervención humana en la negociación, la dependencia en un algoritmo y el alto volumen de órdenes, cotizaciones o anulaciones.

Tras un análisis de las disposiciones de la Directiva concernientes a la negociación algorítmica, la Comisión Nacional del Mercados de Valores (en adelante “CNMV”) extrajo las consecuencias principales de su promulgación para la negociación algorítmica de alta frecuencia (CNMV, 2012):

- (i) Introduce la exigencia de que todas las empresas de servicio de inversión (en adelante “ESIs”) negocien acciones y derivados en centros de negociación.

- (ii) Establece unos requisitos organizativos aplicables a las ESIs y a los centros de negociación. En concreto, y en relación con el tema tratado, exige que el personal encargado cuente con la preparación y conocimiento adecuados de los sistemas de negociación y de los algoritmos utilizados
- (iii) Establece unos requisitos técnicos de resistencia y capacidad de los sistemas. Se establecen unos parámetros para que los sistemas cuenten con la capacidad y resistencia suficiente. Por otro lado, los algoritmos utilizados en los centros de negociación y de las ESIs deben de ser sometidos a pruebas de esfuerzo.
- (iv) Exige unos requisitos para el acceso a servicios de proximidad / *co-location*. Como se pudo ver, los operadores que utilizan este tipo de negociación se sirven de sistemas de *co-location* para asegurar velocidades de ejecución mayores. En este sentido, la Directiva exige que cuando los centros de negociaciones sean los que proporcionen estos servicios de proximidad, “deben asegurar que el acceso a esos servicios sea justo, transparente y no discriminatorio”.
- (v) Impone un control sobre la cantidad de órdenes no ejecutadas. Los centros de negociación deberán controlar la proporción de órdenes no ejecutadas sobre el total de operaciones completadas, mediante sistemas que permitan limitar la introducción de órdenes.
- (vi) Establece un deber de almacenamiento de información en registros. Los inversores que empleen modelos de alta frecuencia deberán almacenar la información en registros para sus sistemas, algoritmos y transacciones durante un periodo de hasta cinco años.

Con todo, y a la luz de las medidas descritas, se puede ver que la normativa europea pretende dotar de mayor transparencia al sistema, estableciendo registros y requisitos organizativos que permitan identificar a aquellos sujetos que negocien mediante algoritmos.

Asimismo, pretende también garantizar la solidez y la estabilidad del mercado, mediante la implementación de requisitos y controles técnicos, con la finalidad de evitar sobrecargas y proporciones desorbitadas de órdenes introducidas.

### 3 Ventajas e inconvenientes

Antes de proceder a una valoración de los aspectos positivos y negativos de este tipo de negociación, cabe mencionar que la reciente incorporación de esta técnica de negociación al mundo financiero no ha permitido por el momento un análisis empírico que evalúe sus implicaciones a largo plazo.

En efecto, los estudios consultados atienden a muestras y a valores de distinta índole y de periodos de tiempo distintos, lo que complica la extracción de una solución uniforme y validada a las distintas hipótesis planteadas.

Con todo, teniendo en cuenta estas limitaciones, se ha podido llegar a una serie de conclusiones en cuanto a las ventajas e inconvenientes de la negociación algorítmica de alta frecuencia.

#### 3.1 Ventajas

##### 3.1.1 *Mejora de la eficiencia del mercado*

El uso de modelos informáticos y de algoritmos para la negociación automatizada ha provocado que los precios de los distintos valores negociados se actualicen con mayor frecuencia y precisión.

En efecto, un estudio de NYSE Euronext demuestra que los *quoted spreads* (diferenciales cotizados) de 2007 a 2009 fueron inferiores a aquellos de 2002 a 2006, en correlación con un mayor uso de negociación automatizada. Esto parece indicar que la negociación automatizada de alta frecuencia ha provocado una mayor competitividad y unos diferenciales menguantes (Agarwal, 2012), lo que podría sugerir una mejora en la eficiencia del mercado.

Esta tesis es suscrita por la propia Directiva MiFID II, al establecer, en su Considerando 62, lo siguiente: “en general, las tecnologías de negociación han proporcionado al mercado y a

sus participantes grandes ventajas, tales como una mayor participación en los mercados, una mayor liquidez, unas horquillas de precios menores, una menor volatilidad a corto plazo y nuevos medios para obtener una mejor ejecución de las órdenes de los clientes”.

Asimismo, Boehmer et al (2020) no solo observan una correlación entre el incremento de la negociación algorítmica de alta frecuencia y la mayor eficiencia del mercado, sino que afirman una causalidad efectiva entre estas dos variables. En este sentido, se observa que los valores con mayor intensidad de negociación algorítmica tienen un menor valor absoluto de autocorrelación de retorno intradía, lo que supone por tanto una menor aleatoriedad de precios, y, en consecuencia, una mayor eficiencia.

### 3.1.2 *Menor coste transaccional*

La eficiencia no solo se manifiesta en términos de precio, mediante diferenciales más ajustados y menos arbitrarios, sino que también se refleja en un menor coste por transacción. Menkveld (2010) afirma que existen pruebas de que los costes de operación se han reducido durante la última década, notablemente tras la crisis financiera, y, de forma continuada, en los mercados de renta variable de EE.UU. Esto, a juicio de Pérez (2011) sugiere una causalidad más que probable entre la irrupción de la negociación algorítmica de alta frecuencia y dicha reducción.

Cabe remarcar la importancia para los inversores de reducir costes transaccionales. En efecto, un menor coste se traduce en un mayor retorno para el inversor, lo que, a su vez, incrementa el valor de los activos y de las carteras de dichos inversores, y con ello, su rentabilidad.

Asimismo, como consecuencia de todo este proceso, se disminuye el coste de capital. Como afirma Jones (2013), de esta forma la negociación algorítmica puede incluso, si bien de forma indirecta, fomentar la inversión, creando riqueza y aumentando la actividad económica.

### 3.1.3 *Información en tiempo real*

Martínez y Rosu (2013) destacan la capacidad de transmisión instantánea de información de la negociación algorítmica de alta frecuencia.

En virtud de esta mayor velocidad, los precios y las cotizaciones reflejen la información del mercado de forma más rápida, y, en consecuencia, mejoran su eficiencia mediante los ajustes de precio.

### 3.1.4 *Mayor liquidez*

La tesis sostenida por varios estudios científicos es que el elevado número de órdenes que se formulan por los *traders* de alta frecuencia se traduce en una mayor liquidez para los mercados.

En primer lugar, Boehmer et al (2020) encuentran que una mayor intensidad de negociación algorítmica mejora la liquidez, al proporcionar diferenciales cotizados más ajustados para valores negociables más elevados.

Carrion (2013), a su vez, observa que los diferenciales son más amplios cuando la negociación algorítmica proporciona liquidez y más ajustados donde ésta resta liquidez, demostrando que la negociación automatizada mediante algoritmos proporciona liquidez cuando ésta escasea y la consume cuando es abundante.

Por otra parte, autores como O'Hara defienden que lo que se produce con la negociación algorítmica de alta frecuencia es una redistribución de la liquidez entre los mercados fragmentados. Así, estima que “antes hablamos sobre el hecho de que la liquidez se ha fragmentado entre los mercados, así que una de las cosas que hacen los operadores de alta frecuencia es mover la liquidez entre mercados” (O'Hara, 2013).

Es decir, puesto que los operadores de negociación de alta frecuencia buscan comprar en el mercado en el que los activos tengan el precio más bajo, y vender en aquel en el que su

cotización sea mayor, provocan una homogeneización del precio, limando picos y diferencias en el mismo. De esta forma, lo que estos operadores logran es “mover” liquidez de donde la hay en exceso a donde escasea (Pérez, 2011).

En línea con lo anterior, como se verá posteriormente, las estrategias de mercado características de la negociación algorítmica de alta frecuencia, tales como el *market making* o el arbitraje, incrementan esta liquidez (Sánchez y Pineda, 2013). De esta forma, se puede considerar que la liquidez es una consecuencia de una mayor actividad de estos operadores en el mercado.

No obstante, cabe destacar que esta ventaja, si bien apoyada por los autores expuestos, no es unánime. En este sentido, autores como Arenillas (2012) consideran que se trata de una liquidez “atípica” y que “a veces, incluso drenan liquidez”. A su juicio, se trata de una liquidez irreal, puesto que, pese al alto volumen de operaciones, las posiciones se mantienen durante periodos muy cortos.

Si bien constituye un argumento razonable para negar la liquidez de la negociación algorítmica de alta frecuencia, cabe también remarcar la marcada oposición de este autor hacia este tipo de negociación en general. En este sentido, el citado autor considera que “ha habido demasiados accidentes financieros en los últimos años y este fenómeno de las finanzas de alta frecuencia no augura nada bueno” (Arenillas, 2012).

### 3.1.5 *Fomento de la tecnología*

La competitividad entre los operadores se basa, como hemos visto con anterioridad, en los avances y en la sofisticación de la tecnología que éstos emplean. Es por ello por lo que la búsqueda de mayores beneficios fomenta la innovación y la inversión en desarrollar no solo algoritmos más complejos, sino también en mejorar infraestructuras que puedan permitir una menor latencia.

Con ello, como hemos visto con la creación de valor y el fomento de la inversión, la negociación algorítmica de alta frecuencia puede tener un impacto positivo en la sociedad, si bien de forma indirecta, al favorecer la mejora y los avances en la tecnología.

## 3.2 Inconvenientes

### 3.2.1 *Volatilidad*

El citado estudio de Boehmer et al (2020) encuentra al respecto que una mayor intensidad de negociación algorítmica “incrementa el rango de precio intradía, la variancia del retorno diario y la volatilidad del retorno diario”.

Dado que la negociación algorítmica de alta frecuencia implica una negociación intradía con posiciones de compra y de venta de escasa duración, esto puede llevar a incrementar la volatilidad general en el mercado, con sus subsecuentes efectos. Antes de proceder a los mismos, cabe mencionar, que, como remarcan dichos autores, la volatilidad es importante para la negociación algorítmica y que puede tener efectos adversos en la calidad del mercado.

En primer lugar, la volatilidad genera una serie de consecuencias negativas en términos de liquidez. El citado estudio de Boehmer et al (2020) descubre que en los días en los que la negociación algorítmica produce una mayor volatilidad, también favorece una menor liquidez.

A juicio de los autores del estudio de 2020, esta relación entre volatilidad y liquidez sugiere que, o bien los mismos *traders* que generan una alta volatilidad también causan una menor liquidez al retirar su fuente de liquidez, o que los *traders*, atraídos por la alta volatilidad, quitan liquidez en vez de proporcionarla. En ambos casos, la negociación algorítmica que tiene lugar durante episodios de alta volatilidad parece ser indeseable para el mercado.

Esto se debe a que una mayor volatilidad hace que las órdenes límite sean más caras, y que, por tanto, proporcionar liquidez sea más costoso. En este sentido, un estudio previo de



Egginton et al (2016) demuestra que los periodos en los que la negociación fue especialmente intensa se asocian con una disminución en la liquidez y con un aumento en la volatilidad (Boehmer et al, 2020), afectando especialmente a los valores más pequeños o de menor cotización.

En segundo lugar, y en términos más subjetivos, la práctica de ejecutar órdenes y cancelarlas de forma instantánea (la principal causa de la volatilidad) con el único fin de provocar compras automatizadas, es una cuestión ética que ha sido cuestionada por los analistas (Agarwal, 2012).

Sin embargo, y sin perjuicio de todo lo anterior, debe precisarse que la volatilidad puede ser un indicador positivo. Si antes afirmábamos que provocaba ganancias de eficiencia, también se observa que dichas ganancias tienen como contrapartida un aumento en la volatilidad.

En suma, puesto que la negociación algorítmica produce una mayor eficiencia informativa, es posible que la mayor volatilidad sea consecuencia del rápido ajuste de precio con la llegada de nueva información. En este caso, por tanto, aunque no esté exenta de inconvenientes, la volatilidad refleja nueva información, y, por tanto, sería hasta deseada (Kirchner, 2015).

### 3.2.2 *Alteración del alto funcionamiento y sobrecargas: especial referencia al “Flash Crash” de 2010.*

Una de las razones por las cuales la negociación algorítmica de alta frecuencia tiene una reputación cuestionable a ojos de la opinión pública se encuentra en el suceso del 6 de mayo de 2010. Este día, en el que el índice *Dow Jones Industrial Average* cayó casi un 5% durante un periodo transitorio de pocos minutos, se conoce como el llamado *Flash Crash* (Brogaard, 2010).

Si bien la causa exacta no fue determinada hasta más tarde, las plataformas de negociación algorítmica fueron tachadas como las responsables de este suceso por la prensa. Estudios

posteriores, tales como el realizado por Kirilenko et al (2017), argumentan que, si bien la negociación de alta frecuencia empeoró esta crisis momentánea, no la provocó.

El origen de este colapso se encuentra en la ejecución de una orden de venta de contratos de futuros por un importe total de cuatro billones de dólares. Dicha orden fue ejecutada de forma instantánea, mediante un algoritmo automatizado de ejecución, cuando el tiempo medio de ejecución de una operación de ese volumen era, en aquel entonces, de aproximadamente cinco horas (Porier, 2012). En este sentido, la súbita e insólita bajada de precios causada por la ejecución abrupta de la orden de venta detonó los algoritmos de las plataformas, provocando una reacción en cadena que exacerbó la bajada de precio.

Por tanto, si bien la negociación de alta frecuencia no puede ser tachada como la causa de la sobrecarga que experimentó el mercado, resulta evidente el papel de estas plataformas en exacerbar la situación.

Es más, si bien las plataformas de técnicas de negociación algorítmica no fueron la raíz del *Flash Crash* de 2010, nada obsta a que generen nuevas sobrecargas. En este sentido, un estudio de 2020 afirma que la negociación algorítmica de alta frecuencia es la responsable de originar y exacerbar este tipo de colapsos momentáneos (Bellia et al, 2020).

En este sentido, el citado estudio, en base a observaciones realizadas por los mismos autores en 2017, que muestran evidencias de crisis momentáneas análogas a la de 2010 en el mercado de futuros, demuestra que eventos asimilados (aunque de menor gravedad) al *Flash Crash* se deben fundamentalmente al empleo de estrategias de negociación automatizada por bancos de inversión.

### 3.2.3 *Abuso de mercado: pinging, quote stuffing, layering, spoofing*

La propia mecánica de negociación tiene asociada una serie de técnicas que no están exentes de controversia. Se tratarán, de forma breve, cuatro de éstas:

#### (i) **Pinging**

Como se ha podido ver en apartados anteriores, una de las características de este tipo de negociación es que el número de órdenes excede, en muchos casos, al número de transacciones efectivas. Muchas de las órdenes, de hecho, se cancelan instantes después de su envío (Porier, 2012).

En términos numéricos, por cada cien operaciones ejecutadas por una plataforma de negociación algorítmica de alta frecuencia, se mandan hasta un millón de ofertas falsas (Arnuk y Saluzzi, 2008).

En suma, la proporción desorbitante entre órdenes no ejecutadas y transacciones introducidas por sujetos que utilizan técnicas de negociación automatizada es un rasgo característico de este tipo de negociación. No obstante, cabe precisar que muchas de estas órdenes se pueden atribuir al uso de una técnica concreta, denominada *pinging*.

Para entender el *pinging*, hay que primero entender la motivación de utilizar esta técnica.

Como hemos podido ver, los operadores de negociación algorítmica buscan anticiparse a los movimientos del mercado, utilizando las ventajas de latencia y de velocidad para lograr ejecutar transacciones antes que los demás sujetos. En este sentido, estos operadores buscarán predecir o incluso conocer de manera desleal las operaciones de gran volumen que los inversores institucionales tienen previstas.

Como explica Mavroudis (2019), los inversores institucionales, que desean mandar un alto número de órdenes sin que el precio de mercado se vea afectado, trocean las operaciones y

las ejecutan de forma gradual, evitando con ello que su estrategia sea descubierta. No obstante, ésta puede ser desvelada por la negociación de alta frecuencia mediante el *pinging*, logrando con ello conocer su verdadera intención y adelantarse en la ejecución.

El funcionamiento del *pinging* para desvelar dichas órdenes es sencillo. El sujeto que cuenta con los algoritmos financieros mandará una orden de venta de los valores sospechosos, esto es, de los valores con los que el inversor institucional parece querer negociar. Posteriormente, en cuanto se le asigne un comprador, será notificado (de ahí el término “*ping*”) sobre la presencia potencial de una orden oculta de gran volumen de un inversor institucional (Mavroudis, 2019).

## (ii) *Quote stuffing*

Mediante esta técnica, el algoritmo financiero solicitará y cancelará un alto número de comandas, con el único objetivo de alterar la negociación de forma abrupta y saturar el mercado.

El principal problema es que deteriora la integridad del mercado (BALAS, 2015), en cuanto que la saturación creada ocasiona retrasos en la actualización de la información, y, con ello, impide la actualización de los precios.

A su vez, el alto volumen de órdenes que se recibe de forma abrupta mediante el uso de estos algoritmos altera de forma dramática los precios, haciéndolos subir o bajar de manera extrema y perjudicando al resto de participantes del mercado.

## (iii) *Spoofing*

Siguiendo la definición de Stefano Durdic (2019), el *spoofing* es una técnica de mercado en la que un operador introduce órdenes visibles que crean una nueva mejor oferta o demanda o que añaden significativamente a la liquidez mostrada en la mejor oferta o demanda existente.

A continuación, la oferta o la demanda se cancela antes de la ejecución de la operación. Durante la vigencia de esa primera orden u órdenes, o poco después de su cancelación, el mismo operador ejecuta una operación en el lado opuesto del mercado.

Lo que se busca con esto es dar una imagen falsa de la demanda, oferta o liquidez en el mercado, de tal forma que se consiga alterar el comportamiento del resto de sujetos, que actúan bajo una apariencia de condiciones distintas a la realidad. Con ello, se puede manipular el valor de un activo, consiguiendo que el *trader* de alta frecuencia logre efectuar la transacción a un precio más favorable que el inicial.

(iv) **Layering**

Constituye una variante del *spoofing*, en cuanto que su objetivo final sigue siendo la creación de ofertas artificiales a distintos niveles o “capas” (*layers*) de precio.

Como explica Gomber (2011), el *trader*, ostentando una posición determinada (esto es, de compra o de venta) inserta un número de órdenes elevado, con diferentes límites de precio, creando con ello una imagen de demanda incrementada en una de las posiciones. Sin embargo, esta introducción masiva de órdenes se realiza con la finalidad de negociar en la posición opuesta. Para ello, y a fin de beneficiarse de esta técnica, las órdenes originales de la otra posición se cancelan antes de la negociación.

Ilustrémoslo con un ejemplo:

Si, por ejemplo, el activo A tuviese un valor de cotización de 15,05 euros, y un *trader* lo quisiera comprar a 15,03 euros, utilizaría *layering* para manipular la demanda del mercado mediante una secuencia de órdenes de venta a niveles de precio más elevados. En este sentido, en primer lugar, introduciría su orden límite de compra a su precio objetivo y rebajado (en este ejemplo de 15,03 euros) y, en segundo lugar, introduciría las distintas capas u órdenes de venta aun precio ligeramente superior

(por ejemplo 100 órdenes a 15,06 euros; 100 órdenes a 15,07 euros y 100 órdenes a 15,08 euros).

Con ello, lo que se conseguiría es generar una falsa imagen de demanda de venta, a la que el resto del mercado reaccionaría, bajando aún más su precio. A continuación, en virtud de su orden límite de compra, en cuanto la cotización bajara al precio deseado, se ejecutaría la compra de forma automática y a su precio deseado. Seguidamente, cancelarías todas las secuencias de órdenes de venta introducidas.

En suma, si bien estas técnicas no son exclusivas a la negociación algorítmica de alta frecuencia, lo cierto es que la tecnología de estas plataformas favorece su ejecución. En segundo lugar, exagera sus efectos en el mercado al permitir la ejecución de un alto volumen de órdenes y poder actuar con mayor rapidez que los demás sujetos.

#### 4 Las estrategias de la negociación algorítmica de alta frecuencia

En este apartado se pretenden abordar las diferentes estrategias de mercado en las que se utiliza la negociación algorítmica de alta frecuencia.

Como se ha indicado a lo largo del trabajo, la negociación algorítmica de alta frecuencia no constituye en sí misma una estrategia de mercado, sino que es una técnica o un uso de la tecnología mediante la cual se implementan estrategias, muchas de ellas ya existentes en el mercado.

La velocidad como ventaja es crucial para aquellos sujetos que emplean estrategias de negociación algorítmica de alta frecuencia, puesto que su tecnología se basa en maximizar oportunidades de inversión extremadamente transitorias; es decir, donde la posibilidad de obtener un beneficio y el valor de la inversión depende de quién sea el primer postor (Biais y Foucalt, 2014).

En consecuencia, el elemento clave será la baja latencia. Las plataformas intentarán reducir al máximo el desfase temporal, endémico a la infraestructura de negociación, por muy pequeño que sea.

En este sentido, se van a explorar las estrategias más utilizadas por la negociación algorítmica de alta frecuencia en el mercado; (i) la creación de mercado o *market making*; (ii) el arbitraje; y (iii) el *front running*.

Antes de proceder a un análisis de estas, cabe destacar dos aspectos: (i) en primer lugar, se puede ver que las estrategias citadas son estrategias que ya gozaban de popularidad en el mercado; (ii) en segundo lugar, cabe decir que es difícil inferir las estrategias individuales buscadas por el inversor al operar al analizar las operaciones realizadas.

#### 4.1 *Market making*

El *market making* o creación de mercado, es, sin duda, la estrategia más utilizada por las plataformas de negociación algorítmica de alta frecuencia; se estima que constituye el 60% del volumen total negociado (Hagströmer y Nordén, 2012).

Mediante esta estrategia, se busca obtener un margen entre las cotizaciones de oferta y demanda en el mercado, posicionándose en ambos lados (esto es, tanto en posiciones de venta como de compra) simultáneamente. Si bien los diferenciales entre estas cotizaciones pueden ser relativamente pequeños, el volumen de órdenes multiplica la ganancia.

De esta forma, la plataforma de negociación proporciona liquidez al mercado al unir las órdenes de compra con las órdenes de venta de distintos sujetos del mercado. A tal efecto, en las bolsas electrónicas se publican órdenes límites de compra y venta, que constituyen instrucciones para ejecutar una operación de manera más beneficiosa que el precio actual del mercado (es decir, a un precio inferior o superior, en función de si se compra o se vende, al precio actual del mercado).

En su labor, el *market maker* introducirá constantemente órdenes en un libro registro de órdenes límites. Este registro es el lugar donde los participantes del mercado manifestarán o registrarán su interés en comprar o vender un volumen específico de valores a un nivel de precio específico (Briola et al, 2021).

Al realizar dichas entradas de forma constante, proporcionará con ello una cantidad importante de liquidez al mercado, y, además, facilitará que cualquier orden introducida en el mercado se ejecute (Fushimi et al, 2018). Es decir, la presencia de una pluralidad de órdenes, a todos los niveles de precios, facilitará que las órdenes de compra y venta se asignen, y que se logre una mayor ejecución de transacciones.

Con todo, el *market making* se caracteriza por ser una estrategia “pasiva”; los *makers* (las plataformas que negocian con el uso de algoritmos) lanzan órdenes, que, como hemos visto,



fijan un precio al que se negociará la operación del inversor, ejecutando la orden cuando se cumplan los parámetros.

¿Cuál es el interés de participar en este tipo de operaciones? Hay, fundamentalmente, dos fuentes de beneficios en el *market making*:

- a. *Rebate trading*: Como se ha visto anteriormente, mediante la creación de mercado y la introducción de cantidades elevadas de órdenes de compra y de venta, se logra aumentar la liquidez del mercado. Esta liquidez se retribuye por las plataformas de negociación, a través de una compensación monetaria (o comisión) llamada “*rebate*” (Muñoz, 2011).
- b. *Diferenciales*: En el plano de la negociación algorítmica de alta frecuencia, las plataformas que participen en esta estrategia buscarán implementar un algoritmo que permita colocar órdenes *bid* (de compra) y *ask* (venta) constantemente (Fushimi et al, 2018).

Por tanto, el beneficio se obtendrá mediante la colocación estratégica de los precios de compra y de venta, para completar las transacciones y “capturar” el diferencial. Asimismo, obtienen compensaciones (*rebates*) a cambio de ofrecer liquidez.

Como ejemplo y a fin de ver una mecánica simplificada de la negociación de alta frecuencia en la creación de mercado, cabe hacer referencia al algoritmo planteado en un estudio de Fushimi et al (2018).

**Gráfica 3: Algoritmo de creación de mercado**

---

**Algorithm 1** Market Making Algorithm

---

```
while current time < end time do
  if no orders in the book then
    | Quote bid and ask prices
  else if 1 order in the book then
    | if current time - execution time > waiting time then
    | | Cancel the outstanding order Quote new bid and ask prices
    | else
    | | Wait
    | end
  else if 2 orders in the book then
    | if current time - quote time > update time then
    | | Cancel both order Quote new bid and ask prices
    | else
    | | Wait
    | end
  end
end
end
```

---

Fuente: Fushimi, González y Herman, 2018.

Lo que muestra este algoritmo son las diferentes fórmulas aplicables a cada situación. Así, en primer lugar, si no hay entradas nuevas en el libro de órdenes, se cotiza un diferencial en el mismo libro. Sin embargo, si con este precio solo una de las órdenes (de *bid* o de *ask*) se asigna y se ejecuta, se esperará unos segundos (el tiempo de espera fijado por la plataforma) para que la orden pendiente se ejecute.

En caso de que la orden pendiente no se ejecutase trascurrido este tiempo, el algoritmo procederá a cancelar la orden (puesto que no se ha podido realizar el *spread* al quedar pendiente la ejecución de uno de los precios) y a colocar otras órdenes con nuevos precios de compra y venta.

La ventaja del uso de esta tecnología en el *market making* reside, fundamentalmente, en la ventaja de tiempo que estas plataformas pueden obtener. Es esta primacía lo que permite dilucidar las diferencias con respecto a un inversor tradicional.

Esto es, mientras que un inversor tradicional tendrá que estar pendiente para tomar las decisiones en tiempo real, los algoritmos de alta frecuencia permiten que aquel que lo emplee

se anticipe a los demás sujetos del mercado, en tanto en cuanto la estrategia ya está predeterminada y se ejecuta de forma automática. Con ello, logra capturar esos diferenciales antes que cualquier otro sujeto, asegurando con ello más ganancias.

Además de esta automatización, los algoritmos utilizados permiten que su usuario reaccione antes que cualquier otro sujeto a los cambios de mercado, pudiendo con ello actualizar los precios de las órdenes introducidas con mayor rapidez.

A su vez, a través de la negociación algorítmica de alta frecuencia el inversor logra mitigar su riesgo (Angelini, 2017). Esta última ventaja se debe a que, igualmente, el algoritmo permite cancelar las órdenes de forma automática cuando no se completan (es decir, cuando solo se ejecute uno de los precios) y enviar unas actualizadas que se ajusten a la nueva información.

## 4.2 Arbitraje

Esta estrategia radica en la habilidad del inversor en descubrir pequeños desajustes de precio entre diferentes mercados o activos que en teoría deberían tener el mismo precio. Estas diferencias de precio pueden tener lugar entre un fondo cotizado y su correspondiente cartera de activos subyacentes, que se negocian en otros mercados- por ejemplo, en la Bolsa de Nueva York o de Londres (Miller y Shorter, 2016).

En cuanto que la eficiencia del mercado provoca una realineación rápida de los precios en distintas plataformas, la negociación algorítmica de alta frecuencia supone la técnica idónea, por su rapidez, para maximizar estas discrepancias y obtener un beneficio cuantioso al ejecutar un volumen de órdenes elevado.

La estrategia concreta para la negociación algorítmica de alta frecuencia es el arbitraje de latencia, en cuanto que, y a diferencia del arbitraje tradicional, se basa exclusivamente en el acceso más rápido a la información del mercado.

En este sentido, ante estas situaciones de mercado cruzado, el algoritmo comprará el valor negociado en el mercado donde esté más barato, y lo venderá en aquel donde en ese momento cotice por encima de dicho valor de compra (Biais y Foucalt, 2014).

Mediante la toma simultánea de posiciones largas y cortas de distintos activos con distintas cotizaciones en distintos mercados, el algoritmo ejecutará aquellas transacciones en las que se identifiquen diferencias de precio antes de que el mercado corrija estas diferencias, pudiendo multiplicar las ganancias mediante el aumento el volumen de activos negociados.

### 4.3 *Front running*

El *front running* se refiere a la situación en la que un sujeto, conociendo la futura entrada de una orden (de compra o de venta), decide operar en la misma dirección. De esta forma, este sujeto se adelanta a la orden prevista, con la intención de, posteriormente, deshacer su posición y beneficiarse a través del impacto del precio en la orden introducida por el otro sujeto (Cai, 2003).

Constituye una estrategia controvertida, y por sus implicaciones en materia de información privilegiada y de manipulación del mercado se prohíbe su empleo en numerosos países. Por ejemplo, en Europa, ESMA prohíbe el uso de esta técnica en base al artículo 7.1.d) del Reglamento (UE) 596/2014 sobre el abuso de mercado, ubicado en el Capítulo 2, dedicado a la información privilegiada y manipulación del mercado (ESMA, 2020).

No obstante, la regulación europea no cuenta con una tipificación expresa de la estrategia, a diferencia de EE.UU., donde, en 2012, la SEC procedió a tipificar las políticas de FINRA relativas al *front running* bajo la *Rule 5270*. En este sentido, la citada norma prohíbe el uso de esta estrategia por las empresas de inversión en base a información proporcionada por sus clientes (Newman y Nicolas, 2012)

El objetivo del *front running* es, como se ha visto en la definición, anticiparse al mercado y a sus estrategias y, en consecuencia, actuar en el mismo con ventaja. Cabe remarcar que, al

igual que el arbitraje o el *market making*, no constituye una estrategia exclusiva de la negociación algorítmica.

La mecánica de esta estrategia en el ámbito de la negociación algorítmica de alta frecuencia es la siguiente; un *trader* algorítmico, anticipando una compra de gran volumen de un inversor institucional, comprará justo antes, de forma que se provoque un ligero y rápido incremento en el precio del activo. De esta forma, cuando el inversor institucional ejecute su transacción, el *trader* se lo podrá vender y ganar el incremento de precio que él mismo ha producido (Miller y Shorter, 2016).

Si bien el empleo del *front running* mediante el uso de información privilegiada es ilegal, hay vías mediante las cuales los *traders* algorítmicos pueden detectar la futura transacción sin recurrir al uso desleal de información.

Como se ha adelantado en el apartado anterior, mediante el *pinging* se podían monitorizar ciertos valores en los que el *trader* estaba interesado, mediante la colocación de pequeñas órdenes (llamadas *immediate-or-cancel*) en milisegundos. Cuando éstas eran completadas, el *trader* recibía la alerta (el *ping*) de que detrás de dicha transacción había una transacción de alto volumen (Mavrouids, 2019).

Para evaluar los efectos de esta estrategia resulta clave la figura de los *dark pools*. Se tratan de plataformas de negociación electrónicas privadas en las que las cotizaciones de los valores ofrecidos no son públicas hasta que se realice la transacción (a diferencia de las bolsas, en las que se puede consultar en todo momento los precios de cotización de diferentes valores, antes y después de realizar una operación (Miller y Shorter, 2016)).

Como se ha podido ver, los inversores institucionales se pueden ver perjudicados mediante estas estrategias de anticipación, obligándose a pagar más por sus compras o ganar menos con sus ventas por la manipulación realizada inmediatamente antes de la ejecución de la transacción.

De esta manera, el deseo de mantener las operaciones ocultas ha motivado la creación de estos *dark pools*, plataformas solamente accesibles por estos inversores institucionales y que garantizan su anonimidad en la negociación (Fabozzi et al, 2011).

## 5 Perspectivas y estrategias de futuro

### 5.1 El futuro de la negociación algorítmica de alta frecuencia

Si bien, como hemos podido constatar, ha habido un notable crecimiento en la presencia de este tipo de negociación durante el siglo XXI, el futuro próximo permanece, cuanto menos, incierto.

En este apartado se analizarán varios de los factores que incrementan la incertidumbre en torno al futuro cercano de la negociación algorítmica de alta frecuencia.

#### 5.1.1 *Críticas y opinión pública*

Pese a que la negociación automatizada sigue siendo una técnica relativamente desconocida para la sociedad en general, actualmente contamos con mucha más información y regulación sobre su funcionamiento de la que ostentábamos en el momento de la aparición de estas plataformas de negociación.

En este sentido, la creciente relevancia de los riesgos y de las implicaciones de este tipo de negociación, unida a la especial sensibilidad de la sociedad hacia las innovaciones en el sector financiero tras la crisis económica (Gomber, 2011), podría poner en juego la viabilidad en el futuro de este tipo de negociación.

A continuación, se exponen las principales críticas a este tipo de negociación.

En primer lugar, una de las críticas más repetidas, analizada en apartados anteriores, atiende a la ventaja desleal con la que cuentan las plataformas de negociación algorítmica. Aún en el hipotético caso de que actuaran exclusivamente con información pública y en igualdad de condiciones informativas al resto de sujetos, hemos visto que su tecnología les permitiría adelantarse, (como, por ejemplo, con el *front running*) obteniendo información inaccesible para los demás y ejecutando sus transacciones con mayor rapidez.

En este sentido, se estima que estas ventajas pueden “erosionar la confianza del inversor en el mercado” (Agarwal, 2012), lo que podría afectar a la actividad financiera en general, desincentivando la participación, especialmente la de los inversores individuales o particulares que no cuenten con una potente infraestructura informática.

En segundo lugar, si bien el riesgo es un elemento fundamental en el mundo financiero, la creación de nuevos riesgos a través de la introducción de nuevas técnicas de negociación en el mercado resulta más difícil de asumir y plantea más críticas, especialmente si por el momento solo se ven directamente beneficiados una clase específica de inversores.

A modo de ejemplo, el evento del *Flash Crash* del 6 de mayo de 2010, anteriormente comentado, demostró que la negociación algorítmica de alta frecuencia exacerbaba el riesgo de “transmisión de shock” (Vieira, 2018). El efecto de “pánico” que se creó tras la rápida bajada de precio del activo fue exagerado ante la reacción en cadena de los operadores de negociación automatizada, permitiendo que la inestabilidad en la negociación se mantuviese durante más tiempo.

Como argumentan Corkery y Zornada (2012), “impulsada por una enorme potencia informática, la bolsa moderna corre el riesgo de alejar al verdadero inversor y de perder su capacidad de captar fondos para las empresas. Las empresas están menos dispuestas a cotizar en los mercados de valores: el número de ofertas públicas iniciales ha disminuido, mientras que la regulación y el coste de las salidas a bolsa de las acciones han aumentado”.

Asimismo, el *Flash Crash* sirvió para fomentar el debate público acerca de una necesaria intervención financiera, sobretodo en el contexto de las graves repercusiones de la crisis financiera de 2008. En EE.UU., diferentes grupos de interés trataron de presionar a la política y a las autoridades regulatorias, culpando a la negociación algorítmica como responsable del Crash, y generando un debate entre las autoridades financieras (Lattemann y Loos, 2012).



En suma, la creciente conciencia social y regulatoria acerca de los peligros de la negociación algorítmica han motivado una serie de reformas, algunas todavía en proceso, que se analizarán seguidamente.

### 5.1.2 *Propuestas de regulación*

Muchas de las reformas legislativas y propuestas futuras en torno a la negociación algorítmica de alta frecuencia responden a las críticas planteadas en el anterior apartado, tanto en los mercados americanos como en los europeos.

#### (i) **Estados Unidos**

Si bien, como se pudo ver en lo concerniente a la regulación en Estados Unidos, fueron precisamente las reformas legislativas las que detonaron el uso de este tipo de plataformas<sup>2</sup>.

Esta tendencia legislativa se ha visto revertida en el mercado americano, llegando a unos niveles de intervención que hace que, actualmente, algunos autores, entre ellos Aldridge (2013) y Worstall (2017) consideren que la negociación algorítmica de alta frecuencia esté “muerta” (O’Connell, 2019).

En este sentido, en marzo de 2015, la SEC aprobó de forma unánime un plan para que los asesores informatizados que desarrollasen algoritmos para negociar en el mercado tuvieran que registrarse con FINRA y superar ciertas pruebas (Kern, 2015).

Por otro lado, la reciente *Regulation AT*, objeto de análisis en apartados anteriores, permitirá en el futuro que las autoridades regulatorias puedan actualizar las exigencias normativas para los métodos de negociación mediante estrategias y tecnología informática, permitiendo por

---

<sup>2</sup> A modo de recordatorio con lo expuesto, es conveniente remarcar que la introducción de la “Order Protection Rule” en el SEA en 2005 prohibió que se llevaran a cabo operaciones financieras a precios inferiores a las cotizaciones protegidas, y para ello, requirió que las órdenes de compra y venta se publicaran a nivel nacional. La consecuencia indirecta de esto fue que los *traders* podían observar las tendencias en una bolsa y capitalizar sobre ellas antes de que el efecto del precio se igualara en otras bolsas.

ello mantenerse al día de las necesidades de protección y de igualdad que haya que garantizar (O'Connell, 2019).

En este sentido, pese a que resulta complicado predecir el objeto y el contenido de las futuras regulaciones y medidas legislativas que se adoptarán para gestionar la negociación algorítmica de alta frecuencia, es importante remarcar la importancia de contar con una regulación básica y específica a la negociación automatizada a la que poder sumar nuevos requisitos y medidas en el tiempo.

### **(ii) MiFID II (Europa)**

Ya se vio la trascendencia de la Directiva MiFID II al abordar, por primera vez, y de una forma exhaustiva, la negociación algorítmica de alta frecuencia en los mercados financieros europeos. No obstante, recientemente ha habido una revisión de estas disposiciones en virtud de una serie de publicaciones realizadas por ESMA.

En primer lugar, los Estándares Técnicos Regulatorios número 7 (*Regulatory Technical Standards* o “*RTS 7*”) refuerzan ciertas exigencias para los operadores de las plataformas algorítmicas.

En concreto, una de las disposiciones más relevantes es el testeo obligatorio de los algoritmos empleados. Los artículos 9(1) y 9(2) del RTS 7 exigen que se lleve a cabo una “prueba de conformidad” mediante la cual se pueda verificar que el algoritmo interactúa con la lógica de casación del centro de negociación y que procesa adecuadamente los flujos de datos descargados del centro de negociación.

Asimismo, el reciente Informe Consultivo (“*Consultation Paper*”) de ESMA, publicado el 18 de diciembre de 2020, revisa y profundiza sobre aspectos concretos en lo concerniente a lo dispuesto en MiFID II sobre la negociación algorítmica de alta frecuencia (ESMA, 2020).

De esta forma, el Informe (con fecha de entrega estimada a la Comisión Europea antes de julio de 2021) permite extraer los elementos claves sobre los cuales versará la nueva regulación de la negociación algorítmica en los mercados financieros europeos.

Estos se tratan, resumidamente, de mayores exigencias en el régimen de autorización de negociación, regulación por primera vez de los *circuit breakers* (esto es, la regulación de “cortocircuitos” que podrían facultar a las autoridades a detener la negociación durante un evento de crisis) y requisitos adicionales a cargo de los centros de negociación que alojen a este tipo de sujetos (ESMA, 2020).

### **(iii) Tasa Tobin**

Paralelamente al esfuerzo legislativo comunitario, el alto volumen que pueden manejar las plataformas plantea la conveniencia de implantar un impuesto sobre las transacciones financieras (o tasa Tobin) específico para este tipo de negociaciones.

Su finalidad en este contexto no sería otra que frenar la ejecución masiva de operaciones, en cuanto que cada una de estas operaciones estaría gravada, y, por tanto, reduce el margen de beneficio adquirido por la plataforma. Con ello, su implementación favorece las inversiones a largo plazo frente a la especulación y las estrategias cortoplacistas (Ehrenstein y Westerhoff, 2003).

En EE.UU., actualmente la SEC detrae 5,10 dólares por cada millón de dólares que se negocian, lo que se traduce en una tasa simbólica de 0,00051% (Rosalsky, 2021). Esto, si bien contribuye a reducir los estrechos márgenes de beneficio con los que se mueven las estrategias de creación de mercado y de arbitraje de la negociación de alta frecuencia, resulta muy reducida cuando se compara con las tasas aplicadas en otros países a las operaciones financieras.

En España, el 16 de enero de 2021 se aprobó una tasa de 0,2% sobre las compras de acciones emitidas en España por sociedades cotizadas con una capitalización superior a los 1.000

millones de euros. La misma tasa ya se venía aplicando en otros países europeos, como en Francia (0,3%), en Reino Unido (0,5%) e Italia (0,2%).

Si bien se podría argumentar que desincentivar a la negociación de alta frecuencia produciría una reducción de liquidez en el mercado (Corkery y Zornada, 2012), otros autores (Brogaard, 2010) argumentan que probablemente una pequeña tasa pueda servir para controlar el número de órdenes introducidas por los inversores, paliando por ello los efectos del uso de técnicas de negociación automatizada, tales como la saturación del mercado o la subida y bajada abrupta de precios.

Con todo, se debería valorar si menos liquidez a cambio de mayor estabilidad y riesgo de manipulación supone ventajoso o no. Independientemente o no de su conveniencia, conviene señalar que podría ser una de las medidas adoptadas en EE.UU., especialmente ante su implantación ante los mercados europeos y el creciente recelo a las mecánicas de negociación algorítmica.

### 5.1.3 *Rentabilidad futura*

Como argumenta Brogaard (2010), a medida que la negociación algorítmica de alta frecuencia se consolide, es posible que su rentabilidad disminuya. A juicio del citado autor, al igual que en otras industrias, las empresas que innovan y crean tecnologías exitosas se ven recompensados con retornos transitorios superiores a la media. Sin embargo, en cuanto esta innovación se convierte en el estándar nuevo, estos retornos se reducen a los niveles ordinarios.

Este ciclo de ventaja competitiva, innovación y rentabilidad se puede ver distorsionado conforme se expanda la tecnología de la negociación automatizada. En este sentido, a medida que más inversores implementen técnicas de baja latencia y la competencia incremente, la rentabilidad futura se puede ver afectada negativamente.

## 5.2 Nuevas tecnologías

### 5.2.1 *Machine Learning*

Si bien la regulación podría frenar la negociación algorítmica en su estado actual, el legislador se topará con que la tecnología se irá sofisticando y evolucionando, y, con ello, desvirtuando la legislación diseñada para regular unas plataformas y tecnologías concretas.

En efecto, si la velocidad de ejecución ha ido reduciéndose con mejoras en la tecnología de latencia, y los algoritmos se han ido sofisticando año tras año, es previsible observar mejoras de eficiencia en el futuro. En concreto, autores como Kearns y Nevmyvaka (2013) apuestan por el *Machine Learning* como la nueva tecnología que marcará el futuro de la negociación algorítmica de alta frecuencia.

El *Machine Learning* es un tipo de ingeniería informática que utiliza modelos y métodos estadísticos, algoritmos, programación e inteligencia informática para inferir modelos y fórmulas predictivas (Kearns y Nevmyvaka, 2013).

De la propia descripción de la técnica, y a la vista de lo expuesto sobre la propia naturaleza de la negociación algorítmica de alta frecuencia, no es difícil entender su encaje. El mercado, caracterizado por su cambiante dinámica y sus efectos no-lineares, es un escenario complejo que requiere de un análisis exhaustivo de toda su información, pasada, presente y futura, para su verdadera comprensión (Briola et al, 2021).

El empleo de *Machine Learning*, tal y como está concebido, supondría enseñar a las “máquinas” a negociar autónomamente, y, además, realizando predicciones ajustadas y actualizadas en base al historial de negociación, las condiciones actuales del mercado y pronósticos de futuro.

La diferencia del *Machine Learning* con un algoritmo tradicional radica en su mayor complejidad y automatismo. De esta forma, no requiere (a diferencia de los algoritmos

financieros tradicionales) una modelización previa y sus modelos son capaces de detectar los comportamientos irracionales y erráticos del mercado (Ganesh y Rakheja, 2020).

El estudio de Bertrand (2019), empleó mediante software de *Machine Learning* una combinación de ocho modelos para evaluar su eficacia en la predicción de movimientos en las cotizaciones de treinta valores del índice *Dow Jones*.

Los resultados demostraron que tres de los modelos (*Decision Trees*, *Random Forest* y *Extreme Gradient Boosting*) obtuvieron una tasa de precisión del 100%.

Esto no es más que un sencillo ejemplo, pero la creciente importancia e inversión en la programación podrán conllevar a una automatización aún mayor mediante la implementación del *Machine Learning* en la negociación automatizada de alta frecuencia.

Por último, es importante remarcar que, si antes la negociación algorítmica de alta frecuencia solo era accesible para inversores institucionales que podían contar con la infraestructura necesaria, los avances en programación han permitido el acceso a los particulares a softwares de programación e incluso a plataformas de negociación (Bertrand, 2019).

### 5.3 Estrategias de mercado alternativas ante restricciones regulatorias

#### 5.3.1 *Negociación automatizada basada en noticias (Automated News-Based Trading)*

Si bien en las anteriores estrategias que fueron objeto de análisis, la información en la que se basaban los algoritmos era estrictamente aquella presente en el mercado (especialmente, como se vio, la evolución de precios y cotizaciones y los movimientos de otros sujetos del mercado), han surgido nuevas estrategias que emplean bases de datos de fuentes externas al mercado.

En concreto, recientemente se han desarrollado avances para determinar de forma automática el llamado “sentimiento de las noticias” (*news sentiment*) para explicar los movimientos en la cotización de valores en el mercado (Feuerriegel y Predinger, 2018).

En la medida en la que las reacciones del mercado se producen en muchos casos tras la revelación de información al público, se están diseñando fórmulas para integrar mensajes de texto y tecnologías de procesamiento lingüístico que permitirían al algoritmo detectar las noticias adecuadas para realizar las operaciones (Feuerriegel y Predinger, 2018).

De esta forma, se integra información de varias bases de datos, incluyendo tanto noticias de prensa como tendencias en redes sociales, especialmente Twitter. Así, por ejemplo, los millones de tweets que integran la base de datos de Twitter pueden ser analizados y de ellos, detectar patrones lingüísticos para clasificar el llamado *news sentiment* (esto es, en positivo, negativo o neutral).

Con ello, se puede determinar la oportunidad de realizar ciertas transacciones en función del estado del mercado. A su vez, esta clasificación se pondera con un criterio de fiabilidad, asignando un cociente mayor a aquellas fuentes identificadas como más relevantes (Shinalkar et al, 2020).

## 6 Conclusión

La negociación algorítmica de alta frecuencia ha conseguido irrumpir con fuerza durante el s.XXI en los principales mercados occidentales, pese a que, como se ha visto, a medida que la intervención del legislador y de las autoridades regulatorias ha ido incrementando, su crecimiento se ha ralentizado.

Con todo, constituye una técnica mediante la cual se pueden ejecutar tanto estrategias tradicionales del mercado (como la creación del mercado o el arbitraje) como estrategias nuevas y propias a su tecnología subyacente (por ejemplo, el controvertido *front running* o el *pinging*) que aprovechan la ventaja de velocidad para adelantarse al mercado.

Aunque algunas de estas estrategias pueden plantear problemas por provocar problemas de asimetría de información o de desigualdad entre los inversores, se han identificado una serie de ventajas que podrían asentarse con la adecuada regulación de los aspectos abusivos de esta tecnología. Entre ellas, la negociación automatizada se traduce en un intercambio rápido de información, lo que mejora la eficiencia del mercado al lograr valores actualizados en menos tiempo. Por otro lado, se consigue reducir el coste transaccional y aumentar la liquidez en el mercado.

De cara al futuro y de la eventual regulación, se ha identificado una posible caída en la rentabilidad del empleo de estas técnicas a medida que se consoliden y se estandaricen en el mercado, y a medida que la regulación devenga más estricta.

En relación con lo anterior, conviene permanecer alerta a los nuevos desarrollos y sustitutos de la negociación algorítmica de alta frecuencia. En este sentido, la implantación del *Machine Learning* resulta un aspecto al que prestar especial atención, en cuanto que puede propiciar, a mi juicio, un problema para el legislador.

Como se ha visto con MiFID II y RTS, las novedades legislativas atienden a requisitos para las plataformas de negociación y para los diseñadores de los algoritmos. Si la negociación de alta frecuencia pasase a estar en manos del *Machine Learning*, esta regulación podría



quedarse obsoleta, en cuanto que el legislador se toparía con la gran dificultad de identificar a los obligados por la norma. Esto es porque, como se ha visto, el acceso a particulares anónimos es cada vez más fácil, aumentando los problemas de identificación e identidad.

En suma, es evidente que la tecnología va a generar importantes cambios en el mercado financiero, ya sea mediante la negociación automatizada, o mediante nuevos y futuras técnicas.

Es posible que la negociación algorítmica de alta frecuencia se vea reemplazada por otro tipo de tecnología distinta en el futuro, pero, a mi juicio, muchos de los problemas que vemos ahora presentes en la negociación automatizada (como, por ejemplo, la dificultad de mantener la regulación actualizada y legislar a la velocidad de los nuevos desarrollos tecnológico) serán extrapolables a los cambios tecnológicos futuros.

## Bibliografía

- Agarwal, A. (2012): “High Frequency Trading: Evolution and the Future”. *Cap Gemini*. Recuperado de: [https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2017/07/High\\_Frequency\\_Trading\\_Evolution\\_and\\_the\\_Future.pdf](https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2017/07/High_Frequency_Trading_Evolution_and_the_Future.pdf) último acceso: 6 de abril de 2021.
- Aldridge, I. (2013): *High-Frequency Trading; A practical guide to algorithmic strategies and trading systems*. Wiley, Nueva Jersey.
- Arenillas, C. (2012): “Hombres contra máquinas: High Frequency Trading”. *Economía exterior: estudios de la revista Política Exterior sobre la internacionalización de la economía española*, (60), 21-28.
- Arnuk, S., y Saluzzi, J. (2008): “Toxic Equity Trading Order Flow on Wall Street”. *Themis Trading LLC Paper*. Recuperado de: <https://static1.squarespace.com/static/54490ebde4b0ad2be644290d/t/56c75b9dc6fc081fd9db325e/1455905693831/Toxic+Equity+Trading+on+Wall+Street+--+FINAL.pdf>, último acceso: 6 de abril de 2021.
- Arnuk, S., y Saluzzi, J. (2012): *Broken Markets: How High Frequency Trading and Predatory Practices on Wall Street Are Destroying Investor Confidence and Your Portfolio*. Addison Wesley, Boston.
- Authority for the Financial Markets (2010): “High frequency trading: The application of advanced trading technology in the European marketplace”. Recuperado de: <https://www.afm.nl/en/nieuws/rapporten/2010/hft-rapport>, último acceso: 6 de abril de 2021.
- Alubankudi, B., y Tapia, M. (2014): “¿Qué sabemos de la negociación de alta frecuencia?”. *Revista de Bolsas y Mercados Españoles*, (200), 48-52.
- Angelini, M. (2017): “Flash Markets and a Market Making algorithm for the Rotman Interactive Trader Client”. *Università LUISS*. Recuperado de: [https://tesi.luiss.it/20973/1/671791\\_ANGELINI\\_BERARDO%20MARIA.pdf](https://tesi.luiss.it/20973/1/671791_ANGELINI_BERARDO%20MARIA.pdf), último acceso: 7 de abril de 2021.
- BALAS (2015): “The Impact of Quote-Stuffing in High-frequency Trading”. *Business Association of Latin American Studies*. Recuperado de: <https://www.balas.org/resources/Documents/2017%20Conference%20Files/2017%20Conference%20Proceedings/The%20Impact%20of%20Quote-Stuffing%20in%20High-frequency%20Trading.pdf>, último acceso: 7 de abril de 2021.

- Bellia, M., Christensen, K., Kolokolov, A., Pelizzon, L., y Renò, R. (2020): “High-frequency trading during flash crashes: Walk of fame or hall of shame?”. *Leibniz Institute for Financial Research SAFE, Working Paper Series* (230).
- Bertrand, O. (2019): “Application of Machine Learning in High Frequency Trading of Stocks”. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 10 (5), 1592-1603.
- Biais, B., y Foucalt, T. (2014): “HFT and Market Quality”. *Bankers, Markets & Investors*, 128 (1), 5-19.
- Briola, A., Turiel, J., Marcaccioli, R., y Aste, T. (2021): “Deep Reinforcement Learning for Active High Frequency Trading”. Recuperado de: <https://arxiv.org/pdf/2101.07107.pdf>, último acceso: 6 de abril de 2021.
- Brogaard, J. (2010): “High frequency trading and its impact on market quality”. *Northwestern University, Kellogg School of Management Working Paper*, 66.
- Boehmer, E., Fong, K., y Wu, J. (2020): “Algorithmic Trading and Market Quality: International Evidence”. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 1-30.
- Cai, F. (2003): “Was There Front Running During the LTCM Crisis?”. *Board of Governors of the Federal Reserve System, International Finance Discussion Papers*, (758). Recuperado de: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=385560](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=385560), último acceso: 11 de abril de 2021.
- Carrion, A. (2013): “Very fast money: High-frequency trading on the NASDAQ”. *Journal of Financial Markets*, 16 (4), 680-711.
- CFTC (2015): “Remarks of Chairman Timothy Massad before the Conference on the Evolving Structure of the U.S. Treasury Market”. *CFTC Public Statements and Remarks*. Recuperado de: <http://www.cftc.gov/PressRoom/SpeechesTestimony/opamassad-30>, último acceso: 11 de abril de 2021.
- Comisión Nacional del Mercados de Valores (2012): “Negociación Algorítmica”. Recuperado de: [https://www.cnmv.es/Portal/MiFIDII\\_MiFIR/Mercados-Negociacion-Algoritmica.aspx](https://www.cnmv.es/Portal/MiFIDII_MiFIR/Mercados-Negociacion-Algoritmica.aspx), último acceso: 6 de abril de 2021.
- Corkery, J.F., y Zornada, K. (2012): “High Frequency Trading and a Financial Transactions Tax”. *Revenue Law Journal*, 22 (1), 3.
- Durdic, S. (2019): “Don’t Confuse Layering, Spoofing and HFT”. *Transaction Network Services*. Recuperado de: <https://tnsi.com/blogpost/dont-confuse-spoofing-layering-and-hft/>, último acceso: 11 de abril de 2021.

- Ehrenstein, G., y Westerhoff, F. (2003): “Tobin tax and market depth”. *Quantitative Finance*, 5 (2), 213-218.
- Egginton, J.F., Van Ness, B.F. y Van Ness, R.A. (2016): “Quote stuffing”. *Financial Management*, 45(3), 583–608.
- ESMA (2014): “Economic Report. High-frequency trading activity in EU equity markets”. *ESMA Economic Report*. Recuperado de: [https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/library/2015/11/esma20141\\_-\\_hft\\_activity\\_in\\_eu\\_equity\\_markets.pdf](https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/library/2015/11/esma20141_-_hft_activity_in_eu_equity_markets.pdf), último acceso: 6 de abril de 2021.
- ESMA (2020): “MAR Review Report”. Recuperado de: [https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/library/esma70-156-2391\\_final\\_report\\_-\\_mar\\_review.pdf](https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/library/esma70-156-2391_final_report_-_mar_review.pdf); último acceso: 11 de abril de 2021.
- ESMA (2020): “MiFID II/MiFIR review report on Algorithmic Trading”. Recuperado de: [https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/library/esma-70-156-2368\\_mifid\\_ii\\_consultation\\_paper\\_on\\_algorithmic\\_trading.pdf](https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/library/esma-70-156-2368_mifid_ii_consultation_paper_on_algorithmic_trading.pdf), último acceso: 6 de abril de 2021.
- El País (2011): “En manos de la máquina”. Recuperado de: [https://elpais.com/diario/2011/12/04/negocio/1323008065\\_850215.html](https://elpais.com/diario/2011/12/04/negocio/1323008065_850215.html), último acceso: 6 de abril de 2021.
- Fabozzi, F., Focardi, S.M., y Jonas, C. (2011): “High Frequency Trading: Methodologies and market impact”. *Review of Futures Markets*, 9, 7-38.
- Feuerriegel, S., y Predinger, H. (2018): “News-based trading strategies”. *Decision Support Systems*, 90, 65-74.
- Fushimi, T., González, C., y Herman, M. (2018): “Optimal High-Frequency Market Making”. *Stanford University*.
- Ganesh, P., y Rakheja, P. (2020): “VLSTM: Very Long Short-term Memory Networks for High-Frequency Trading”. *Papers, arXiv.org*. Recuperado de: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:arx:papers:1809.01506>, último acceso: 6 de abril de 2021.
- Gomber, P. (2011): “High Frequency Trading”. Recuperado de: <http://ssrn.com/abstract=1858626>, último acceso: 6 de abril de 2021.
- Hagströmer, B., y Nordén, L. (2012) “The Diversity of High-Frequency Traders”. Recuperado de: <https://ssrn.com/abstract=2153272>, último acceso: 6 de abril de 2021.

- Jones, C.M. (2013): “What Do We Know About High-Frequency Trading?”. *Columbia Business School*, Research Paper 13-11.
- Kearns, M., y Nevmyvaka, Y. (2013): “Machine Learning for Market Microstructure and High Frequency Trading”. *High frequency trading: New realities for traders, markets and regulators*, Risk Books, Londres, 91–124.
- Kern, J. (2015): “SEC Requires FINRA Registration for High Frequency Traders”. *Sheppard Mullin*. Recuperado de: <https://www.corporatesecuritieslawblog.com/2015/03/sec-requires-finra-registration-for-high-frequency-traders/>, último acceso: 12 de abril de 2021.
- Kirchner, S. (2015): “High Frequency Trading: Fact and Fiction”. *Policy: A Journal of Public Policy and Ideas*, 31 (4), 8-20.
- 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*, 72 (3), 967-998.
- Lattemann, C. y Loos, P. (2012): “High Frequency Trading: Costs and Benefits in Securities Trading and its Necessity of Regulations”. *Business & Information Systems Engineering*, 4 (2), 93-108.
- Lewis, M. (2015): *Flash Boys: A Wall Street Revolt*. W. W. Norton & Company, Nueva York.
- López Jiménez, J.M. (2016): “Negociación de alta frecuencia: el día que David no pudo derrotar a Goliat”. *Estrategia Financiera*, 31 (334), 38-42.
- Martínez, V., y Rosu, I. (2013): “High Frequency Traders, News and Volatility”. *HEC Paris*.
- Mavroudis, V. (2019): “Market Manipulation as a Security Problem”. Recuperado de: <https://arxiv.org/pdf/1903.12458.pdf>, último acceso: 6 de abril de 2021.
- Menkveld, A.J. (2010): “Middlemen in Limit Order Markets”. VU University, Amsterdam.
- Miller, R., y Shorter, G. (2016): “High Frequency Trading: Overview of Recent Developments”. *U.S. Congressional Research Service*. Recuperado de: <https://fas.org/sgp/crs/misc/R44443.pdf>, último acceso: 11 de abril de 2021.
- Muñoz, A. (2011): “Trading de Alta Frecuencia”. *UNED*. Recuperado de: <https://www.albertomunozcabanes.com/mis-conferencias/uned-trading-de-alta-frecuencia/>, último acceso: 6 de abril de 2021.
- Newman, B. y Nicolas, S. (2012): “SEC Approves New FINRA Rule 5270: A Significant Expansion of FINRA’s prohibitions on Front Running Block Transactions”. *Wilmer Hale*. Recuperado de: <https://www.wilmerhale.com/en/insights/publications/sec->

[approves-new-finra-rule-5270-a-significant-expansion-of-finras-prohibitions-on-front-running-block-transactions](#), último acceso: 11 de abril de 2021.

O'Connell, K. (2019): "Has Regulation Affected the High Frequency Trading Market?". *Catholic University Journal of Law and Technology*, 27 (2), 145-172.

O'Hara, M. (2013): "HFT in Russia". *HFT Review*. Recuperado de: <https://c.mql5.com/forextd/forum/111/hft-in-russia.pdf>, último acceso: 6 de abril de 2021.

Porier, I. (2012): "High-Frequency Trading and the Flash Crash: Structural Weakness in the Securities Markets and Proposed Regulatory Responses". *Hastings Business Law Journal*. 8 (2), 445-472.

Pérez, A. (2011): "Negociación de alta frecuencia: más ventajas que inconvenientes". *Revista de Bolsas y Mercados Españoles*, (199), 46-50.

Rockas, A.T. y Tuchman, D.S. (2015): "The SEC Proposes FINRA Regulation for High-Frequency Traders". *Skadden, Arps, Slape, Meagher & Flom LLP and Affiliates*. Recuperado de: <https://www.skadden.com/-/media/files/publications/2015/05/theseccproposesfinraregulationforhighfrequencytrade.pdf>, último acceso: 11 de abril de 2021.

Rosalsky, G. (2021): "After GameStop, A Better Way To Take on Wall Street?". *NPR*. Recuperado de: <https://www.npr.org/sections/money/2021/02/09/965417988/after-gamestop-a-better-way-to-take-on-wall-street?t=1614426980080>, último acceso: 6 de abril de 2021.

Sánchez Mojo, M. y Pineda Martínez, A. (2013): "La denominada negociación de alta frecuencia (High Frequency Trading)". *Revista de Derecho del Mercado de Valores*, (12), 227-244.

SEC (2008): "Division of Market Regulation: Responses to Frequently Asked Questions Concerning Rule 611 and Rule 610 of Regulation NMS". *Securities and Exchange Commission*. Recuperado de: <https://www.sec.gov/divisions/marketreg/nmsfaq610-11.htm>, último acceso: 6 de abril de 2021.

Securities and Exchange Commission Historical Society (s.f.): "Timeline:1990s". *SEC Historical Society*. Recuperado de: <http://www.sechistorical.org/museum/timeline/1990-timeline.php>, último acceso: 6 de abril de 2021.

Shinalkar, A., Naidu, R., Jain, K., y Yadav, P. (2020): "High Frequency Trading (HFT): Inside the blackbox that beats the market". *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(11), 1481-1484.

Vieira, H. (2018): “Is EU regulation of high frequency trading stringent enough?”. *LSE Business Review*. Recuperado de: <https://blogs.lse.ac.uk/businessreview/2018/10/08/is-eu-regulation-of-high-frequency-trading-stringent-enough/>, último acceso: 6 de abril de 2021.

Worstell, T. (2017): “Don’t Worry, Be Happy – High Frequency Trading Is Over, Dead, It’s Done”. *Forbes*. Recuperado de: <https://www.forbes.com/sites/timworstell/2017/03/25/dont-worry-be-happy-high-frequency-trading-is-over-dead-its-done/?sh=3eeb3a7fdcf8>, último acceso: 6 de abril de 2021.