

INVESTIGACIÓN
¿PERMITEN LOS MODELOS PREDICTIVOS Y EL ANÁLISIS TÉCNICO
OPTIMIZAR LOS RESULTADOS DE ESTRATEGIAS DE INVERSIÓN PERIÓDICA
SOBRE UN ÍNDICE BURSÁTIL?

ANDRÉS FELIPE DUQUE
Y
MARÍA ANTONIA LOFRUSCIO



PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS
MAESTRIA EN FINANZAS
SANTIAGO DE CALI

2024

INVESTIGACIÓN
¿PERMITEN LOS MODELOS PREDICTIVOS Y EL ANÁLISIS TÉCNICO
OPTIMIZAR LOS RESULTADOS DE ESTRATEGIAS DE INVERSIÓN PERIÓDICA
SOBRE UN ÍNDICE BURSÁTIL?

ANDRÉS FELIPE DUQUE

Y

MARÍA ANTONIA LOFRUSCIO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título
de Magíster en Finanzas

Director del trabajo de grado: David Arango Londoño

Estadístico

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS
MAESTRIA EN FINANZAS
SANTIAGO DE CALI

2024

Santiago de Cali, 18 de Junio de 2024

Doctor
Fabian Fernando Osorio Tinoco
Decano
Facultad De Ciencias Económicas y Administrativas
Pontificia Universidad Javeriana

Cali,

Por medio de la presente estamos entregando a usted el Trabajo de Grado cuyo título es “¿PERMITEN LOS MODELOS PREDICTIVOS Y EL ANÁLISIS TÉCNICO OPTIMIZAR LOS RESULTADOS DE ESTRATEGIAS DE INVERSIÓN PERIÓDICA SOBRE UN ÍNDICE BURSÁTIL?”.

Esperamos que este Trabajo cumpla con los requisitos académicos exigidos y que alcance el propósito para el cual fue elaborado.

Atentamente



Andrés Felipe Duque
Cédula: 1151966339.



María Antonia Lofruscio
Cédula: 112721554.

Santiago de Cali, 18 de Junio de 2024

Doctor
Fabian Fernando Osorio Tinoco
Decano
Facultad De Ciencias Económicas y Administrativas
Pontificia Universidad Javeriana

Cali,

Por medio de la presente me permito comunicarle, que en mi calidad de director de trabajo de grado he leído detenidamente el informe final del estudio titulado “¿PERMITEN LOS MODELOS PREDICTIVOS Y EL ANÁLISIS TÉCNICO OPTIMIZAR LOS RESULTADOS DE ESTRATEGIAS DE INVERSIÓN PERIÓDICA SOBRE UN ÍNDICE BURSÁTIL?”, realizado por los estudiantes de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad Javeriana nombres: MARÍA ANTONIA LOFRUSCIO id o C.C 1127215554 & ANDRÉS FELIPE DUQUE id o c.c 1151966339, y considero que cumple con todos los requisitos requeridos para ser presentada a evaluación.

Atentamente

David Arango Londoño

David Arango Londoño
Director del Trabajo de Grado

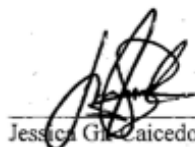
ARTÍCULO 23 de la resolución N° 13 de julio 6 de
1946

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de Tesis. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque la Tesis no contenga ataques o polémicas puramente personales; antes bien, se vea en ellas al anhelo de buscar la Verdad y la Justicia”.


“¿PERMITEN LOS MODELOS PREDICTIVOS Y EL ANÁLISIS TÉCNICO OPTIMIZAR LOS RESULTADOS DE ESTRATEGIAS DE INVERSIÓN PERIÓDICA SOBRE UN ÍNDICE BURSÁTIL?” Aprobado por el Comité de Trabajos de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana para optar por el título de Magister en Finanzas.



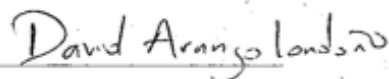
Fabian Fernando Osorio Tinoco
Decano
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas



Jessica Gilzaicedo
Directora de Maestría en Finanzas.



Orlando Joaquín Barandica
Jurado



David Arango Londoño
Director del Trabajo de Grado

Santiago de Cali, 18 de junio del 2024

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	11
PREGUNTA PROBLEMA	13
OBJETIVOS	13
<i>Objetivo general</i>	13
<i>Objetivos específicos</i>	13
HIPÓTESIS	13
MARCO TEORICO	14
<i>Hipótesis de mercados eficientes</i>	14
<i>Estrategias de inversión pasiva e indexación</i>	15
<i>Estrategias de inversión graduales o periódicas y Dollar Cost Averaging (DCA)</i>	16
<i>Análisis técnico en mercados de renta variable</i>	18
<i>Modelos predictivos para la toma de decisión</i>	21
METODOLOGÍA	23
RESULTADOS	26
<i>Análisis descriptivo</i>	26
<i>Aplicación de estrategia periódica sin modelo predictivo</i>	28
<i>Ajuste de estrategia periódica con modelo predictivo</i>	33
<i>Aplicación de estrategia periódica ajustada</i>	35
CONCLUSIONES	40
REFERENCIAS	42

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO PROPUESTO PREVIO A IMPLEMENTACIÓN ARIMA	25
FIGURA 2. RETORNOS ACUMULATIVOS Y CAÍDA MÁXIMA	30
FIGURA 3. RENDIMIENTO RELATIVO ENTRE EP Y DCA	31
FIGURA 4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO PROPUESTO CON IMPLEMENTACIÓN ARIMA	35
FIGURA 5. RETORNOS ACUMULATIVOS Y CAÍDA MÁXIMA DEL MODELO CON ARIMA	37
FIGURA 6. RENDIMIENTO RELATIVO ENTRE EP CON ARIMA Y DCA	38

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL S&P500	27
TABLA 2.FRECUENCIAS DE PRECIOS DEL S&P500 CON RESPECTO A BANDAS DE BOLLINGER	28
TABLA 3. INDICADORES DE RENTABILIDAD Y RIESGO	30
TABLA 4. SIMULACIÓN DINÁMICA DE 2 AÑOS	32
TABLA 5. SIMULACIÓN DINÁMICA DE 5 AÑOS	33
TABLA 6. COMPARACIÓN DEL MAPE DEL ARIMA PARA DIFERENTES VENTANAS DE TIEMPO	34
TABLA 7. INDICADORES DE RENTABILIDAD Y RIESGO DEL MODELO CON ARIMA	37
TABLA 8. SIMULACIÓN DINÁMICA DE 2 AÑOS INCLUYENDO EP CON ARIMA	39
TABLA 9. SIMULACIÓN DINÁMICA DE 5 AÑOS INCLUYENDO EP CON ARIMA	39

RESUMEN

El presente estudio explora la inversión pasiva o indexación proponiendo un método periódico de inversión que ofrece una alternativa al convencional Dollar Cost Averaging (DCA). La estrategia propuesta armoniza principios de los mercados eficientes con el análisis técnico, combinando dos perspectivas históricamente divergentes, y emplea el modelo predictivo ARIMA, para optimizar la cantidad invertida en cada período. El propósito de esta aproximación es ajustar las inversiones a las fluctuaciones del mercado, basándose en datos históricos y tendencias actuales para guiar las decisiones de inversión, desplazando así el foco de la predicción de precios hacia la optimización del monto invertido. Aunque investigaciones previas han explorado ajustes periódicos en el volumen de inversión, la novedad de este estudio radica en integrar el análisis técnico y modelos predictivos para la toma de decisiones sobre el volumen de aportes, un enfoque poco explorado en la literatura existente. A partir de este proyecto de investigación se espera que la estrategia propuesta, superé en rendimiento y riesgo al enfoque tradicional de Dollar Cost Averaging.

INTRODUCCIÓN

La inversión en el mercado de renta variable se presenta como uno de los principales dilemas y temas de discusión tanto para inversores como para académicos. Se debate intensamente sobre si los inversores pueden realmente superar al mercado empleando estrategias de selección activa de inversiones, o si, por el contrario, resulta más sensato asumir un enfoque pasivo. La inversión pasiva, también conocida como indexación, surge como una respuesta lógica a la teoría de mercados eficientes introducida por Fama (1970), la cual sostiene que los precios de los activos reflejan toda la información disponible y que, por tanto, los esfuerzos por superar al mercado a través de la selección individual de inversiones son generalmente infructuosos. Malkiel (2003) apoya esta visión, promoviendo la indexación como una manera de seguir un índice de mercado o de mantener un portafolio diversificado sin la intención de batir los rendimientos del mismo.

El Dollar Cost Averaging (DCA) destaca en la inversión pasiva por su estrategia de distribuir inversiones en intervalos regulares y montos fijos, buscando atenuar el riesgo asociado a la volatilidad del mercado (Ketchum, 1947; Solomon, 1948; Weston, 1949; Malkiel, 2019). No obstante, existe una falta de claridad en la literatura al diferenciar el DCA de las políticas de inversión graduales, que a menudo se confunden o se aplican de forma indistinta (Constantinides, 1979). Nuestro estudio se enfoca en una metodología de inversión periódica que prescinde de la rigidez de montos fijos, favoreciendo un enfoque más gradual y adaptativo.

Dunham y Friesen (2011) y Lin y Xu (2016) abogan por la modulación de contribuciones basada en el comportamiento de precios de los activos para afinar la inversión periódica. Este enfoque ajustable podría superar la rigidez del DCA tradicional, ofreciendo una alternativa más flexible y acorde con el dinamismo de los mercados.

Esta investigación pretende relacionar dos perspectivas opuestas: la teoría de mercados eficientes y el análisis técnico. El análisis técnico, esta enfocado en pronosticar rendimientos financieros futuros mediante datos de mercado históricos (Park & Irwin, 2007). Fama (1991) y Brock, Lakonishok y LeBaron (1992) proporcionan evidencia del poder predictivo de los rendimientos y la eficacia de métodos técnicos fundamentales. A pesar de las críticas de los defensores de los mercados eficientes frente a la inexistencia de ineficiencias explotables en los mercados, se busca integrar ambos enfoques en una estrategia de inversión periódica (EP), similar al Dollar Cost Averaging (DCA).

Adicionalmente, se examinará la aplicación de modelos predictivos en la predicción de precios de acciones para inversión y trading activo, una práctica cuya relevancia ha crecido recientemente. Basak et al. (2019) destacan la eficacia de los modelos Random Forest y XG Boost, mientras que Li et al. (2023) demuestran la precisión de las redes LSTM para prever precios a largo plazo. Estos avances coinciden con los hallazgos de Kobiela et al. (2022), quienes compararon los modelos ARIMA y LSTM en tres distintos períodos (30 días, 3 meses y 9 meses), estableciendo una base sólida para el uso de estos modelos en la predicción de series temporales. Su estudio reveló que ARIMA mostró un desempeño superior en la mayoría de los casos, especialmente en predicciones a largo plazo, lo que sugiere su idoneidad para analizar inversiones con un horizonte temporal extendido. Por lo tanto, en el contexto de la predicción de precios de acciones, la preferencia por el modelo ARIMA para períodos de inversión prolongados se ve respaldada por evidencia empírica, mientras que las redes LSTM pueden ser más adecuadas para predicciones a corto plazo.

PREGUNTA PROBLEMA

¿Permiten los modelos predictivos y el análisis técnico optimizar los resultados de estrategias de inversión periódica sobre un índice bursátil?

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar en qué medida la implementación de modelos predictivos, basados en medias móviles como indicadores relativos de precio, pueden mejorar la toma de decisiones en cuanto al volumen óptimo de aportes en un sistema de inversión periódica sobre el S&P500.

Objetivos específicos

1. Estimar los parámetros utilizando estadística descriptiva del comportamiento histórico del S&P500.
2. Implementar un modelo predictivo con base en los parámetros extraídos del comportamiento de las medias móviles y la posición relativa del precio para la toma de decisión frente al volumen del aporte.
3. Comparar los resultados de la aplicación de la estrategia de inversión periódica (EP) en cuanto a riesgo y rentabilidad en diferentes periodos con la estrategia Dollar Cost Averaging.

HIPÓTESIS

A partir de este proyecto de investigación se espera que una estrategia de inversión periódica que ajusta el volumen de aportes, basándose en análisis técnico y modelos predictivos del comportamiento del índice S&P 500, superé en rendimiento y riesgo al enfoque tradicional de Dollar Cost Averaging.

MARCO TEORICO

Hipótesis de mercados eficientes

La hipótesis de mercados eficientes, fue propuesta por Eugene Fama en la década de 1960. En su revisión teórica y empírica, Fama (1970) describe los mercados eficientes como aquellos donde los precios reflejan toda la información existente, dividiendo este principio en las formas débil, semifuerte y fuerte, cada una con implicaciones distintas sobre cómo y cuándo se incorpora la información en los precios de los activos. Según Fama, los precios se ajustan tan rápidamente a nueva información que no permite oportunidades de obtener rendimientos por encima del mercado basados en predicciones de movimientos de precios futuros. A pesar de reconocer algunas anomalías, Fama concluyó que los mercados tienden a adherirse a esta noción de eficiencia.

Sin embargo, el concepto de EMH ha sido objeto de debate y crítica. Shleifer (2000) planteó serias dudas sobre la EMH, argumentando que las insuficiencias encontradas en estudios recientes desafían la noción de que el arbitraje corrige eficientemente los precios y que los inversores actúan completamente de manera racional. Shleifer sugirió que las dinámicas psicológicas y conductuales podrían ser más influyentes en la lógica del mercado, lo que podría resultar en desviaciones significativas y persistentes de la eficiencia. Esta perspectiva contrasta con la de Malkiel (2003), quien defendió la EMH argumentando que, a pesar de las anomalías y la aparente previsibilidad del comportamiento del mercado, la eficiencia subyacente se mantiene intacta, con los mercados reflejando información de manera rápida y precisa.

Además, Grossman y Stiglitz (1980) aportaron a esta discusión destacando un conflicto fundamental entre la eficiencia en la difusión de información y los incentivos para adquirirla. Argumentaron que en un mercado donde los precios reflejan perfectamente toda la información,

los costos asociados con la adquisición de dicha información pueden llevar al colapso de la eficiencia del mercado. Este análisis sugiere que un cierto nivel de imperfección en la información es necesario para el funcionamiento de los mercados eficientes. En un contexto similar, Ball y Brown (1968) observaron que los precios de las acciones reaccionan lentamente a la nueva información, sugiriendo ciertas ineficiencias en el mercado de capitales.

Malkiel (2005), en su reflexión sobre la EMH treinta años después de su formulación inicial, sostuvo que la hipótesis se mantiene, evidenciado por la incapacidad de los fondos de inversión gestionados activamente para superar consistentemente a los índices de referencia, lo que indica que los precios del mercado reflejan adecuadamente la información disponible. Por el contrario, Tıtan (2015) profundizó en la revisión de la literatura especializada y la investigación empírica sobre la EMH. Él destacó la evolución de la hipótesis desde sus inicios en la década de 1960, con estudios que desafían sus tres formas: débil, semifuerte y fuerte. En su análisis, encontró que, a pesar de la existencia de anomalías en los precios de las acciones, estas no proporcionan oportunidades consistentes para obtener rendimientos anormales ajustados al riesgo, apoyando la noción de que la eficiencia del mercado podría prevalecer a pesar de las imperfecciones observadas.

Estrategias de inversión pasiva e indexación

El concepto de inversión pasiva fue introducido inicialmente por Paul Samuelson, ganador del Premio Nobel de Economía en 1970. Samuelson presentó la idea de que sería más rentable para los inversores seguir un índice, como el S & P 500, que intentar superar el mercado a través de la selección activa de acciones. Esta noción fue materializada por Jack Bogle de Vanguard Group en 1976 con el lanzamiento del primer fondo mutuo pasivo.

Malkiel (1974/2019) describe la inversión pasiva como una estrategia que busca replicar el rendimiento del mercado mediante un fondo indexado que sigue un índice de mercado, minimizando costos y comisiones. Esto ha probado ser más efectivo que confiar en la selección activa de inversiones a largo plazo. De igual manera ve la creación de fondos indexados como una solución ideal para inversores minoristas, permitiéndoles participar en un amplio espectro del mercado sin los altos costos asociados con la gestión activa. La eficiencia de mercado, un principio defendido por Malkiel (2003), sugiere que la capacidad del mercado para asimilar rápidamente la información hace que las estrategias de inversión activa sean menos ventajosas.

French (2008) subraya la eficacia de la inversión pasiva en términos de eficiencia económica, destacando que, a pesar de su naturaleza menos costosa, estas estrategias a menudo superan en rendimiento a las activas. Schlanger (2013) apoya esta perspectiva, señalando que los fondos indexados tienden a ofrecer mejores resultados que los gestionados activamente. Complementando esta visión, Jaeger (2005) examina los fondos de cobertura y sostiene que su rendimiento se atribuye a la captura de primas de riesgo sistemáticas accesibles a través de inversiones pasivas, en lugar de a la explotación de ineficiencias del mercado.

La literatura académica converge en la premisa de que las estrategias de inversión pasiva o indexación, por medio de la minimización de costos y la maximización de la eficiencia del mercado, facilitan rendimientos competitivos que son accesibles para una gama extensa de inversores. Estas metodologías, respaldadas por la hipótesis de mercados eficientes, prometen una asignación de capital óptima.

Estrategias de inversión graduales o periódicas y Dollar Cost Averaging (DCA)

El concepto de Dollar Cost Averaging (DCA), o promedio de costo en dólares, se ha establecido como un pilar en las estrategias de inversión pasiva, particularmente en el contexto

de mitigar el riesgo a lo largo del tiempo. Las primeras discusiones académicas que ilustran el concepto de DCA se remontan a los trabajos de Ketchum (1947), Solomon (1948) y Weston (1949). Malkiel (1973/2019) recalca que este método de inversión periódica en acciones con montos iguales puede disminuir, aunque no eliminar, los riesgos asociados con las inversiones en renta variable, asegurando que la cartera completa no se adquiriera a precios excesivamente altos.

Existe un prolongado debate entre la efectividad de la inversión de suma global ('Lump Sum') frente a la promediación del costo en dólares ('Dollar Cost Averaging'), Constantinides (1979), argumentó que los planes de DCA son subóptimos desde un punto de vista teórico, una postura respaldada por numerosos estudios empíricos subsecuentes. No obstante, Balvers y Mitchell (2000) señalan que el DCA puede ser preferible en mercados con tendencias a la reversión a la media, particularmente para inversores con horizontes de inversión extendidos.

Esta investigación, por su parte, no se centra directamente en este debate. En su lugar, se propone una estrategia que será definida como una metodología de inversión periódica. Esta se define como la acumulación constante de activos que sigue un rumbo fijo, agregando nuevas inversiones al índice bursátil incluso frente a horizontes de inversión inciertos, adoptando principios de la inversión pasiva. La propuesta se desmarca del supuesto de inversiones de montos iguales característico de la estrategia DCA, optando en cambio por la premisa de aportaciones periódicas. Asimismo, la comparación natural de esta estrategia será con el DCA, tomando en cuenta que se plantea un enfoque de aportaciones mensuales basadas en flujos futuros no disponibles en el momento inicial, dejando de lado la comparativa con la estrategia suma global (Lump Sum). Esta noción está en consonancia con los supuestos de He y Wang (2022), quienes examinan la eficacia comparativa de las estrategias de DCA contra diferentes tácticas de timing de mercado. Constantinides (1979) ya había señalado que el término DCA se

ha utilizado indistintamente para designar tanto a las políticas de DCA como a las políticas graduales de inversión, entendidas estas últimas como cualquier enfoque que implique ajustes de cartera en más de una fase.

Dentro del panorama de inversión, se han explorado diversas propuestas que abogan por una contribución periódica ajustable, según lo discutido en los estudios de Dunham y Friesen (2011) y Lin y Xu (2016). Estas propuestas giran en torno a la modulación del volumen de inversión periódica como un mecanismo para afinar los resultados de una estrategia de Dollar Cost Averaging (DCA), basándose en el comportamiento de los precios de los activos entre periodos determinados para capitalizar los incrementos o decrecimientos de precios en función del índice de rentabilidad.

Análisis técnico en mercados de renta variable

El análisis técnico se distingue por su enfoque analítico que busca prever el comportamiento futuro de los rendimientos financieros por medio del estudio de datos históricos del mercado, poniendo énfasis en el análisis de precios y volúmenes de acciones. En lo que respecta a las estrategias y los indicadores primordiales, el análisis técnico ha centrado su atención en la implementación de reglas como las de media móvil y las de soporte y resistencia, las cuales han demostrado ser pilares en el desarrollo de estrategias de inversión efectivas.

Dentro de las contribuciones más influyentes esta, Brock et al. (1992) que desempeñaron un papel destacado al evidenciar que un conjunto de reglas de trading técnico, simples pero eficaces, posee una capacidad de pronóstico considerable sobre las variaciones del Dow Jones Industrial Average (DJIA) en un extenso periodo de muestra. Su trabajo cuestiona la noción de eficiencia del mercado y propone que los patrones predecibles pueden ser discernidos a través de estas técnicas. Sin embargo, esta metodología no ha estado exenta de detractores. Críticos,

amparados en la teoría del mercado eficiente, argumentan que la capacidad del análisis técnico para anticipar movimientos de precios es limitada, careciendo de una base teórica robusta y presentando resultados empíricos mixtos. Estudios clave como los de Fama y Blume (1966), Jensen y Benington (1970) y Cowles (1933) han concluido que la utilidad del análisis técnico es cuestionable.

Balvers et al. (2000) caracterizan la reversión a la media en el contexto de los mercados financieros como la propensión de los precios de los activos a regresar a una tendencia determinada, un concepto que ha generado debate en el ámbito de las acciones. Esta teoría se sustenta principalmente en los hallazgos empíricos sobre la reversión a la media en los precios de las acciones en Estados Unidos a largo plazo, tal como se evidencia en los estudios de Fama y French (1988) y Poterba y Summers (1988). En su estudio, Balvers et al. (2000) desarrollan una estrategia de inversión basada en la reversión a la media, que supera eficazmente a las estrategias tradicionales de comprar y mantener y a la estrategia de DeBondt y Thaler (1985). Esta estrategia innovadora utiliza la información de los parámetros de una regresión rodante para predecir los retornos de las acciones, generando resultados significativos tanto estadística como económicamente, respaldando así la reversión a la media.

Miller et al. (1994) desafían la noción comúnmente aceptada de que la reversión a la media en los cambios de base de los índices bursátiles se debe principalmente al arbitraje de índices. El estudio revela que, incluso en ausencia de un arbitraje formal y teniendo en cuenta la infrecuente negociación de acciones en la cartera del índice, es posible esperar una marcada autocorrelación negativa. Además, los autores sugieren que las peculiaridades observadas en los índices bursátiles, atribuibles a la microestructura del mercado, podrían extenderse a otros contextos de mercado. Al diferenciar series temporales entre distintos activos o carteras, emergen

patrones que pueden estar más influenciados por aspectos como la frecuencia de transacciones que por relaciones económicas subyacentes. Esto implica que los usuarios de datos de precios intradía deben proceder con precaución al interpretar estos patrones, ya que podrían no representar fielmente las tendencias reales del mercado

En una trayectoria similar, He y Wu (2001) profundizaron en este campo demostrando que el componente de media móvil, resultante de la agregación de índices, ejerce una influencia significativa en la dinámica temporal de los cambios de base. Propusieron que la reversión a la media no es exclusivamente el resultado de las actividades de arbitraje, sino que también puede atribuirse a artefactos estadísticos derivados de las metodologías empleadas en la construcción de índices.

En su investigación, Zhu y Zhou (2009) exploran la eficiencia de una estrategia de asignación de activos que se centra en la compra de acciones cuando su precio sobrepasa el promedio móvil en un periodo determinado. A pesar de la limitada base teórica y de los resultados empíricos variados existentes, su trabajo proporciona una justificación teórica sólida para la adopción de esta metodología. El análisis de Zhu y Zhou (2009) demuestra que el análisis técnico, particularmente mediante la estrategia basada en la media móvil, mejora las estrategias convencionales de asignación de activos que invierten proporciones fijas de capital en acciones, y resulta especialmente valioso en situaciones donde la previsibilidad del mercado es incierta.

Day y Ni (2023) indicaron que adoptar estrategias contrarias en momentos en que los índices de acciones quiebran umbrales críticos, tales como los mínimos de 150 y 200 días, podría resultar más lucrativo. Este enfoque está en consonancia con la filosofía de inversión de Warren Buffett, que aconseja 'ser avaricioso cuando otros tienen miedo', y proporciona una alternativa intrigante frente a las reglas de trading tradicionales que se basan en comparaciones relativas.

Dentro de esta misma noción, John Bollinger desarrolló el indicador conocido como Bandas de Bollinger, basado en la filosofía de la relatividad. Este enfoque sugiere que los precios de las acciones son relativos, no absolutos, estableciendo así un "canal" compuesto por bandas superior, media e inferior, en torno al cual se espera que fluctúen los precios de las acciones. El propósito de Bollinger era que, mediante este "canal", se pudieran identificar los niveles de precios considerados relativamente altos o bajos. La banda media se determina comúnmente con una media móvil de 20 días, mientras que el ancho del canal se calcula a partir de la desviación estándar. Se adopta frecuentemente un múltiplo de desviación estándar de 2, puesto que se estima que hay más de un 95% de probabilidad de que el precio de la acción oscile entre las bandas superior e inferior (Yan et al., 2017). Este indicador técnico complementa las estrategias basadas en el análisis de medias móviles y soportes y resistencias, reforzando así la profundidad y eficacia del análisis técnico en los mercados de renta variable.

Modelos predictivos para la toma de decisión

El modelo ARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Average) ha sido fundamental en la predicción de series temporales durante más de cincuenta años, tal como indican Khashei, M., Bijari, M., & Raissi Ardali, G. A. (2009). Este modelo pronostica el valor futuro de una variable como una función lineal de observaciones anteriores y errores aleatorios, con los parámetros p , d y q que reflejan los órdenes de los componentes auto regresivos, de diferenciación y de media móvil, respectivamente.

Kobiela et al. (2022) destacan su capacidad para abordar series tanto estacionarias como no estacionarias, valiéndose de la autocorrelación y la diferenciación para lograr la estacionariedad, una cualidad indispensable para la solidez del análisis temporal. Esta

flexibilidad se traduce en una herramienta valiosa para el sector financiero, optimizando la predicción de precios de acciones al adaptarse a las fluctuantes condiciones del mercado.

La metodología trazada por Box y Jenkins (1976) es crucial para el desarrollo del modelo ARIMA, con un enfoque particular en la estacionariedad como fundamento para la fiabilidad de las predicciones. A través de un proceso iterativo que incluye la identificación del modelo, la estimación paramétrica y la verificación diagnóstica, utilizando la función de autocorrelación (ACF) y la función de autocorrelación parcial (PACF), junto con optimizaciones y verificaciones estadísticas, se persigue la configuración de un modelo robusto y confiable para la predicción.

El análisis comparativo efectuado por Kobiela et al. (2022) entre ARIMA y LSTM evidencia que ARIMA, al depender únicamente de datos históricos de precios, supera en desempeño a LSTM, que necesita una mayor diversidad de características para ser entrenado eficazmente. Esto resalta no sólo la importancia de una adecuada selección de características en el proceso de modelado sino también la capacidad inherente de ARIMA para realizar predicciones acertadas, incluso bajo un enfoque simplificado que se basa solamente en datos históricos de precios.

METODOLOGÍA

El presente estudio se centra en el análisis técnico y la aplicación de modelos predictivos para mejorar la asignación de capital en una estrategia de inversión periódica (EP) vinculada al índice S&P 500. El objetivo es observar si mediante la integración de técnicas de análisis técnico y la implementación de modelos predictivos se puede mejorar la eficacia del enfoque convencional de inversión conocido como Dollar Cost Averaging (DCA). Esta investigación se propone recolectar y examinar los datos históricos del precio ajustado del S&P 500 utilizando como referencia el ETF SPY, comprendidos entre el 1 de enero de 2007 y el 31 de diciembre de 2023. Para la extracción y manejo de estos datos se empleará la biblioteca quantmod, TTR, PerformanceAnalytics y tidyquant del software estadístico R, reconocido por su capacidad de análisis financiero.

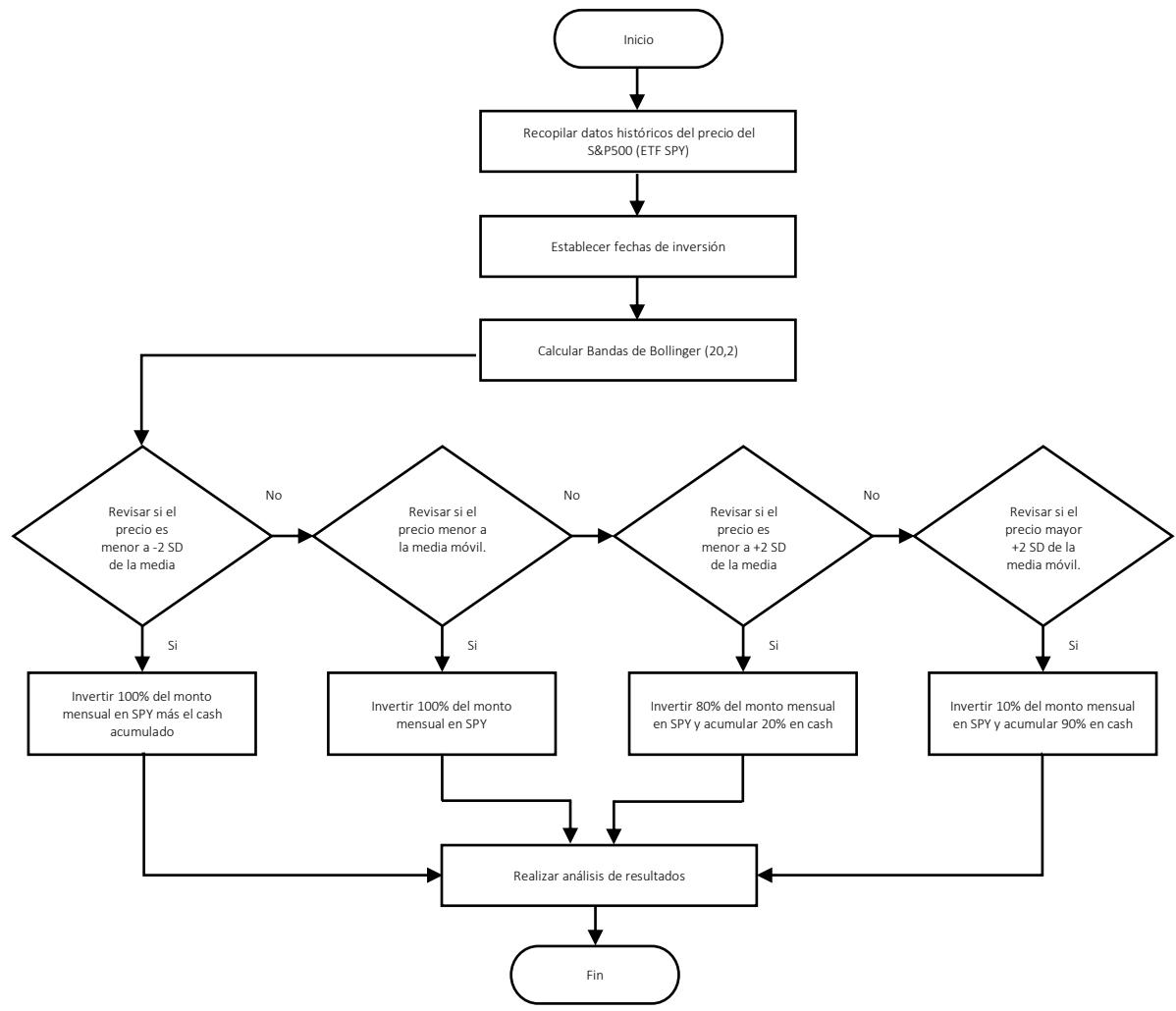
Para el análisis propuesto, se establecen los siguientes supuestos que guiarán la investigación: Se asigna un monto mensual constante de \$100 para la inversión, proporcionando una base sólida para modelar la estrategia EP y evaluar su rendimiento en el tiempo. Se supone la ausencia de costos de transacción e impuestos, lo que permite una estimación directa de los retornos netos. Se asume que el mercado refleja eficientemente toda la información disponible en los precios de los activos y no se tomará en cuenta la valoración temporal del dinero. Además, se estipula que las compras del índice se efectuarán al precio de cierre del día anterior durante la apertura del mercado, y se presupone que el ETF mantiene una liquidez óptima que permite la ejecución inmediata de las órdenes de compra sin alteraciones significativas en el precio.

En la siguiente fase del estudio, se busca identificar fluctuaciones significativas con respecto al promedio del precio, para lo cual se recurrirá al uso de las Bandas de Bollinger. Este indicador técnico se fundamenta en la media móvil simple de veinte periodos, añadiendo a su

alrededor dos bandas que se sitúan a dos desviaciones estándar. En base a este indicador, se definirán intervalos específicos que servirán para determinar el monto de la inversión mensual de acuerdo con la **Error! Reference source not found.** Se establecen parámetros con el fin de simular la noción de reversión a la media, realizando mayores aportes a la inversión cuando el precio es menor a la media, y viceversa. Es importante considerar que, para la estrategia propuesta, el monto no invertido en el S&P500 se acumulará en efectivo para su inversión en el momento en que se establezcan los parámetros. Este enfoque se implementa por razones de practicidad dentro del análisis. No obstante, es esencial tener en cuenta que este monto no invertido podría destinarse a cualquier otro índice o activo según las preferencias del inversionista.

Adicionalmente, se lleva a cabo una simulación dinámica de 5 años y de 2 años, calculando los rendimientos logarítmicos diarios de las estrategias para determinar los indicadores de; retorno anual, el coeficiente de Sharpe y la desviación estándar. Además, se emplea el indicador de retornos ponderados por dinero (Money Weighted Return) para evaluar los retornos sensibilizados por los flujos de inversión. De esta manera, se comparan la estrategia propuesta de inversión periódica (EP) con el DCA. Asimismo, esto ayudará a evaluar cómo el modelo predictivo ARIMA puede contribuir a la optimización de los montos de inversión de la estrategia propuesta.

Figura 1. Diagrama de flujo del modelo propuesto previo a implementación ARIMA



Nota: El diagrama plasma gráficamente el proceso y los parámetros de la estrategia periódica sin implementar el modelo predictivo ARIMA.

RESULTADOS

Análisis descriptivo

El análisis descriptivo de los retornos logarítmicos diarios del índice S&P 500 revela detalles sobre su comportamiento entre el 1 de enero de 2007 y el 31 de diciembre de 2023, los cuales se pueden observar en la **Error! Reference source not found.** Comenzando por los extremos, se observa que el mínimo retorno diario fue de -11.59%, reflejando que este es el peor día para el índice y sugiere un episodio de alta volatilidad o una reacción del mercado a eventos negativos significativos. Por otro lado, el máximo retorno registrado fue de un 13.56%, lo que puede señalar una recuperación robusta o una reacción positiva a acontecimientos favorables en el mercado.

El primer cuartil, situado en un retorno de -0.41%, indica que en al menos un cuarto de las ocasiones, el índice experimentó pérdidas moderadas. Esto contrasta con el tercer cuartil, que muestra un retorno de 0.60%, señalando que en la mayoría de los días, se observan ganancias por debajo de ese umbral. Este rango intercuartil, encapsula la mitad central de los datos, es relativamente estrecho, de solo 1.01%, lo que indica que los retornos diarios del índice suelen ser moderados en lugar de extremos.

La mediana de los retornos, un aumento del 0.07%, demuestra que más de la mitad de los días el índice cerró con ganancias ligeras. Esta medida de tendencia central es crucial porque no se ve afectada por valores atípicos y ofrece una visión más realista del rendimiento típico del índice en comparación con la media aritmética.

Hablando de la media, con un retorno promedio de 0.04%, refleja que el S&P 500, en promedio, ha tenido un desempeño positivo durante el período analizado. Sin embargo, la

proximidad de la media a la mediana sugiere que los retornos positivos y negativos se compensan relativamente bien, lo que implica que por cada día con rendimientos significativamente bajos, hay otro con rendimientos igualmente altos.

En resumen, el índice S&P 500 muestra una distribución de retornos que se inclina ligeramente hacia el lado negativo, aunque el promedio aún se mantiene en terreno positivo. La presencia de volatilidad es evidente dada la amplitud entre el retorno mínimo y máximo, pero el comportamiento general del índice tiende hacia un crecimiento modesto. Adicionalmente, con una desviación estándar de 0.0126 y una curtosis pronunciada de 16.4, se destaca la probabilidad de eventos extremos más allá de los esperados en una distribución normal, datos cruciales para los inversores y analistas que evalúan el riesgo y formulan estrategias en el dinámico entorno del S&P 500.

Tabla 1. Estadística descriptiva del S&P500

Min.	1er Qu.	Mediana	Promedio	3er Qu.	Max.	Curtosis	SD
-11.59%	-0.41%	0.07%	0.038%	0.60%	13.56%	16.4	1.26%

Nota: La tabla presenta las estadísticas descriptivas del rendimiento logarítmico diario del S&P500, detallando su comportamiento.

La **Error! Reference source not found.** ilustra cómo se distribuyen los precios del S&P 500 en relación a las Bandas de Bollinger. Se observa que el 29.3% de las veces, los precios se mantienen entre -2 desviaciones estándar y la media móvil, indicando rendimientos negativos dentro de una volatilidad limitada. En contraste, un significativo 61.59% de los precios se sitúan entre la media móvil y +2 desviaciones estándar, sugiriendo una tendencia predominante hacia rendimientos positivos y moderados. Además, los eventos extremos que superan estas bandas

ocurren aproximadamente en el 4% de los casos, reflejando una simetría en la ocurrencia de picos tanto positivos como negativos. Aunque más raros, estos picos marcan importantes cambios en el mercado y son esenciales para las estrategias de inversión orientadas a aprovechar estos movimientos significativos.

Esta distribución evidencia no solo la naturaleza dinámica del índice, sino también la robustez de la media móvil y las desviaciones estándar como herramientas para medir y entender la volatilidad del mercado. Para esta estrategia estas métricas ofrecen un lente para evaluar la exposición al riesgo y las oportunidades de inversión en el contexto de un mercado que, a pesar de sus fluctuaciones, muestra un patrón de crecimiento general.

Tabla 2. Frecuencias de precios del S&P500 con respecto a Bandas de Bollinger

Menor a -2 SD	Entre -2 SD y Media Móvil	Entre Media Móvil y +2 SD	Mayor a +2 SD
4.91%	29.30%	61.59%	4.19%

Notas: La tabla muestra la distribución de los precios del S&P500 en relación con las Bandas de Bollinger.

Aplicación de estrategia periódica sin modelo predictivo

La estrategia de inversión periódica (EP) se puso a prueba contra el Dollar Cost Averaging (DCA) mediante una simulación que incorpora toda la información histórica de precios entre el 1 de enero de 2007 y el 31 de diciembre de 2023. Cabe destacar que, aunque ambas estrategias concretaron el mismo número de inversiones en idénticos intervalos de tiempo, EP se distingue al ajustar el monto invertido en cada periodo según las directrices predefinidas.

En la **Error! Reference source not found.**, se presentan los retornos logarítmicos diarios acumulativos y la caída máxima, utilizando el paquete de PerformanceAnalytics. Dentro de esta

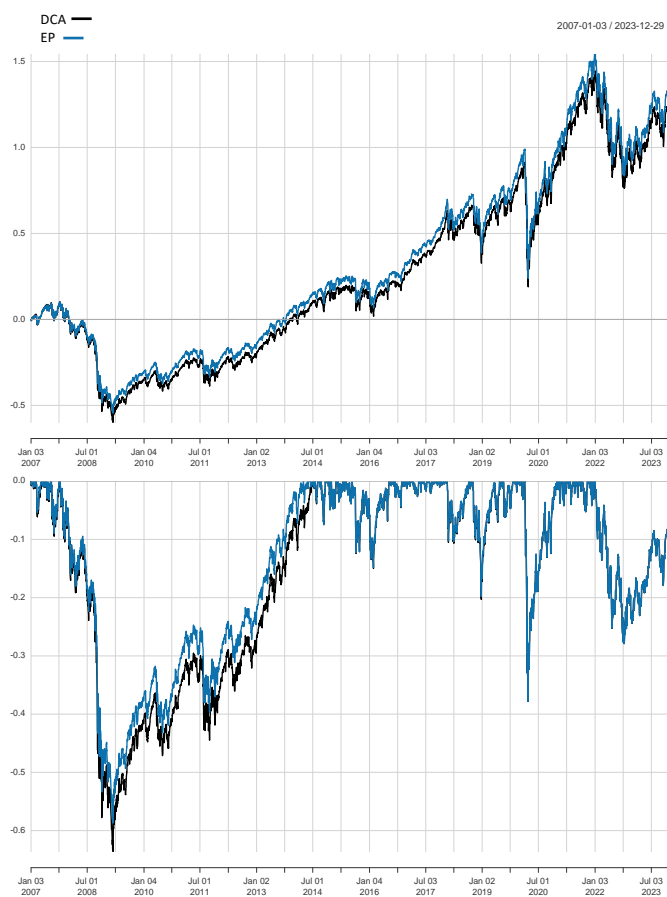
gráfica, se observa que la estrategia EP supera en retornos diarios al DCA. Esto se debe principalmente a que se realizan provisiones en dólares, lo que suaviza los rendimientos y reduce el impacto de las variaciones del índice en el día. Este efecto es positivo durante períodos de caída de precios, ya que, como se puede observar en la gráfica de caída máxima, mitiga las pérdidas en la inversión. Sin embargo, a largo plazo, este efecto se reduce, principalmente porque no se realiza un ajuste al aporte y el saldo acumulado en el SP500 solo aumenta. Por lo tanto, en una etapa muy avanzada, no es relevante si se provee una porción del monto inicial de \$100.

La **Error! Reference source not found.** presenta los indicadores de rendimiento y riesgo, donde la EP sobresale con un rendimiento anualizado de 5,34% en contraposición al 5,10% de DCA, señalando una superioridad en la generación de rendimiento promedio anual. EP también presenta una menor volatilidad, con una desviación estándar anualizada de 19,09% frente al 20,21% de DCA, lo que sugiere retornos más estables. La ratio de Sharpe anualizado de 0,28 de la EP, comparado con el 0,25 de DCA, refleja una mayor eficacia en la gestión del riesgo por unidad de retorno obtenido. Pese a estos puntos fuertes, el retorno ponderado por dinero es ligeramente superior en DCA (10,48%) comparado con EP (10,26%), indicando que el DCA podría haber resultado más beneficioso desde una perspectiva de flujos de caja a lo largo del tiempo.

El rendimiento relativo, tal como se muestra en la **Error! Reference source not found.**, se define como la proporción del capital acumulado de la estrategia EP respecto al del DCA. Un valor superior a 1 indica que la estrategia EP supera al DCA, ofreciendo un mejor retorno por cada dólar invertido. Esta superioridad se hace especialmente evidente durante los períodos en que el mercado experimenta una tendencia bajista, debido a las provisiones en dólares

mencionadas anteriormente. Los momentos en los que la estrategia EP cae por debajo de 1 se relacionan con períodos alcistas, durante los cuales la estrategia tiene una menor cantidad acumulada en el índice en comparación con el DCA, lo que resulta en un retorno menor.

Figura 2. Retornos acumulativos y caída máxima



Nota: La figura ilustra los retornos acumulativos y la caída máxima de la estrategia periódica sin modelo ARIMA (serie azul) y del Dollar Cost Averaging (serie negra).

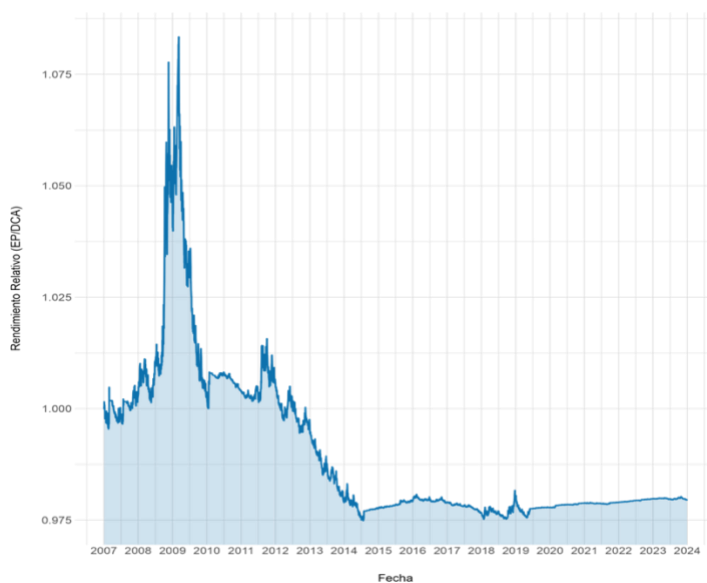
Tabla 3. Indicadores de rentabilidad y riesgo

	Retornos Anualizados	SD Anualizada	Sharpe Anualizado (Rf=0%)	Money Weighted Return
EP	5,34%	19,09%	0,28	10,26%

DCA	5,10%	20,21%	0,25	10,48%
-----	-------	--------	------	--------

Nota: La tabla muestra los indicadores anualizados de rentabilidad (retornos y money weighted return) y riesgo (SD y Sharpe) de la estrategia periódica sin modelo ARIMA y del Dollar Cost Averaging.

Figura 3. Rendimiento relativo entre EP y DCA



Nota: La figura ilustra el rendimiento relativo entre la estrategia periódica sin modelo ARIMA y del Dollar Cost Averaging.

Se llevaron a cabo dos simulaciones distintas con horizontes temporales de 2 y 5 años, respectivamente. Cabe destacar que el inicio de la inversión se realizó en días diferentes para cada simulación, lo que dio lugar a múltiples iteraciones para cada conjunto de datos. En ambas simulaciones, se implementaron la estrategia periódica (EP) y el DCA, con el objetivo de evaluar su desempeño a lo largo del tiempo.

Al analizar los resultados obtenidos en las

y

, se observa una tendencia común en ambas tablas: la estrategia periódica exhibe un ratio de Sharpe y una desviación estándar superiores en comparación con el DCA. Esto sugiere que la estrategia periódica logra generar un retorno más eficiente en relación con el riesgo asumido, lo que indica una gestión más efectiva del portafolio.

Es importante señalar que, si bien los retornos acumulados en el DCA son mayores en ambas simulaciones, al comparar la frecuencia con la que los retornos acumulados y los Money Weighted Returns superan a los del DCA, se observa un porcentaje mayor en la simulación de 2 años. Esto sugiere que la estrategia periódica podría ser más favorable en un horizonte temporal más corto.

Tabla 4. Simulación dinámica de 2 años

	<i>Money Weighted Returns</i>	<i>Retorno Anualizado</i>	<i>Sharpe (Rf=0%)</i>	<i>SD</i>
<i>Número de simulaciones</i>	4742	4742	4742	4742
<i>EP Superior</i>	21,17%	34,35%	72,78%	100,00%
<i>DCA Superior</i>	78,83%	65,65%	27,22%	0,00%
<i>EP Media</i>	10,16%	6,30%	0,62	17,09%
<i>DCA Media</i>	11,12%	6,74%	0,59	19,00%
<i>EP Desviación Estándar</i>	11,63%	12,13%	0,72	7,48%

DCA Desviación Estándar	12,70%	13,26%	0,71	7,80%
--------------------------------	--------	--------	------	-------

Nota: La tabla muestra los resultados de la simulación dinámica de 2 años (4742 simulaciones) de la estrategia periódica (sin modelo ARIMA) y del Dollar Cost Averaging.

Tabla 5. Simulación dinámica de 5 años

	<i>Money Weighted Returns</i>	<i>Retorno Anualizado</i>	<i>Sharpe (Rf=0%)</i>	<i>SD</i>
Número de simulaciones	4742	4742	4742	4742
EP Superior	7,17%	22,90%	70,46%	100,00%
DCA Superior	92,83%	77,10%	29,54%	0,00%
EP Media	11,09%	8,19%	0,57	16,88%
DCA Media	11,68%	8,54%	0,55	18,23%
EP Desviación Estándar	3,44%	5,23%	0,36	4,27%
DCA Desviación Estándar	3,60%	5,71%	0,36	4,49%

Nota: La tabla muestra los resultados de la simulación dinámica de 5 años (4742 simulaciones) de la estrategia periódica (sin modelo ARIMA) y del Dollar Cost Averaging.

Ajuste de estrategia periódica con modelo predictivo

Con los datos previamente analizados, se tomó la decisión de que la estrategia EP solo se implementara cuando las condiciones del mercado sean a la baja. Para determinar la tendencia del mercado se utilizará el modelo predictivo ARIMA utilizando una ventana de tiempo de 30

días desde el día previo a la inversión. Dependiendo de si la tendencia prevista es alcista o bajista, se aplicará la estrategia correspondiente: Dollar Cost Averaging (DCA) para tendencias al alza o la estrategia EP en el escenario opuesto como se puede observar en la **Error!**

Reference source not found.. Este método busca aprovechar las oportunidades presentadas por las tendencias bajistas para la preservación del efectivo, o invertir completamente en situaciones de tendencia alcista, donde la estrategia DCA tiende a superar.

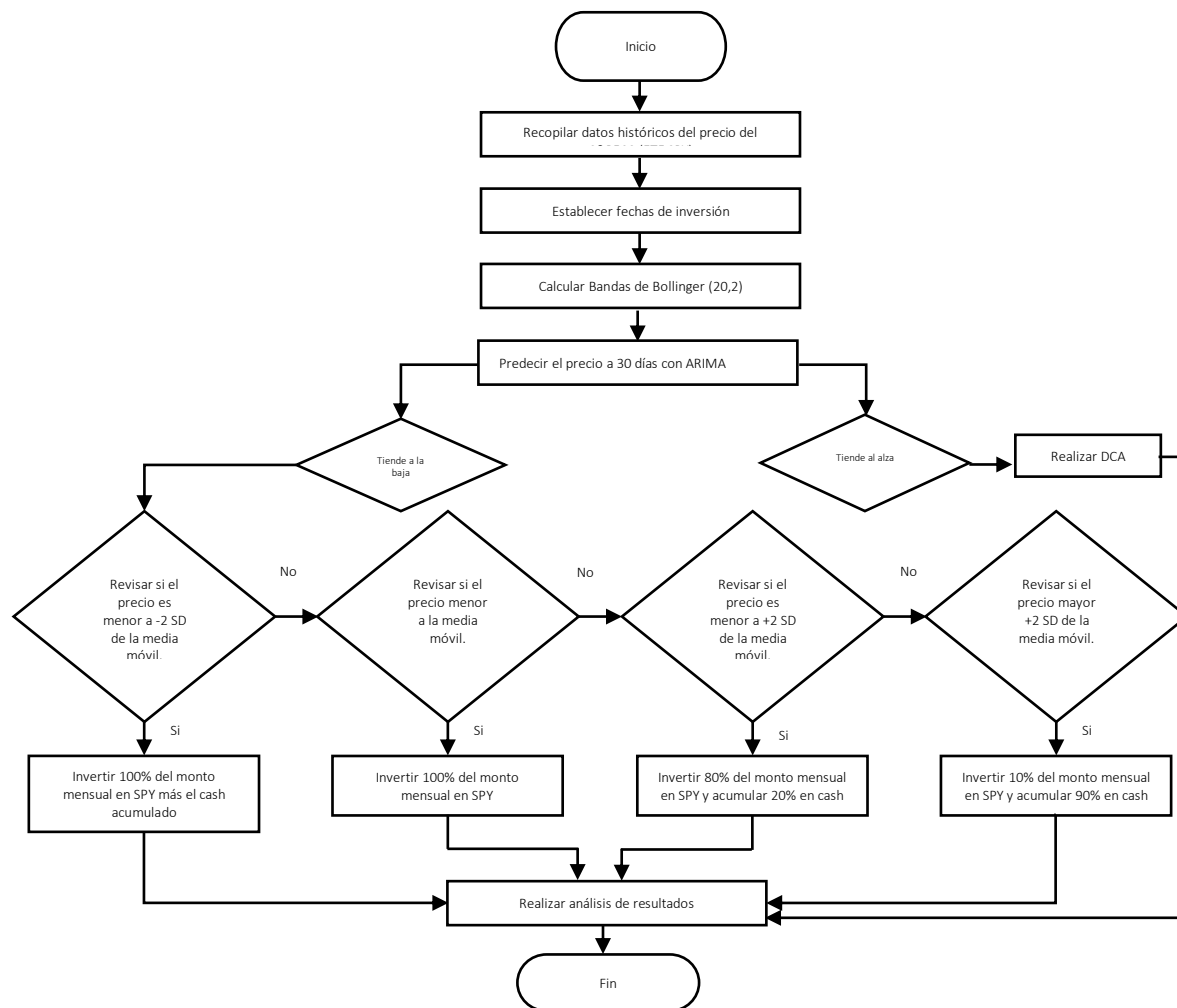
La decisión de limitar las predicciones a un marco de 30 días se basa en los hallazgos del estudio "ARIMA vs LSTM on NASDAQ stock exchange data", donde se compararon cinco diferentes horizontes temporales: 1 día, 30 días, 1 mes, 3 meses y 9 meses. La precisión de las predicciones, evaluada a través del MAPE, determinó que la ventana de 30 días resultó ser la más exacta. El estudio reveló que este periodo específico tenía el menor MAPE, indicando un mayor grado de confiabilidad en las predicciones para esta ventana temporal, como se ilustra en la **Error! Reference source not found..**

Tabla 6. Comparación del MAPE del ARIMA para diferentes ventanas de tiempo

Ventana de tiempo	ARIMA (MAPE)
1 día	1.64%
30 días	1.64%
1 mes	4.28%
3 meses	5.93%
9 meses	7.55%

Nota. La tabla muestra el error absoluto medio porcentual de un modelo ARIMA aplicando distintas ventanas de tiempo. Datos tomados de ARIMA vs LSTM on NASDAQ stock exchange data (2022).

Figura 4. Diagrama de flujo del modelo propuesto con implementación ARIMA



Nota: El diagrama plasma gráficamente el proceso y los parámetros de la estrategia periódica implementando el modelo predictivo ARIMA.

Aplicación de estrategia periódica ajustada

Después de implementar los ajustes en la estrategia periódica, se procede a evaluar su desempeño mediante simulación, contrastándola con la técnica de Dollar Cost Averaging (DCA). Mantuvimos el mismo número de inversiones y nos basamos en el historial completo de precios, desde el 1 de enero de 2007 hasta el 31 de diciembre de 2023. Como se muestra en la **Aunque el** modelo EP sin ARIMA tiene rendimiento anualizado superior, un sharpe ligeramente mayor y

una desviación estandar menor, es la versión ajustada con ARIMA la que destaca, aumentando el Money Weighted Return en 0,44 puntos porcentuales hasta el 10,44%, superando tanto al EP sin ARIMA y estando solo 0,04 puntos porcentuales por debajo del DCA.

Este incremento en el rendimiento ponderado por dinero evidencia la eficacia del ajuste estratégico que aprovecha los periodos alcistas identificados por el modelo predictivo. Este método de inversión total de capital en momentos previstos de tendencia positiva optimiza los beneficios, lo que demuestra la utilidad de integrar análisis predictivos en la toma de decisiones de inversión para mejorar los resultados ajustados por riesgo.

Con respecto al rendimiento relativo representado en la **Error! Reference source not found.** se puede observar que nuevamente el DCA sigue superando a la estrategia EP aun asi se haya realizado el ajuste del modelo predictivo, la diferencia es que aplicando el ARIMA se notan perdidas menos pronunciadas. Este comportamiento se atribuye a que durante los periodos alcistas ya hay una mayor cantidad de capital invertido en el índice, no obstante, sigue siendo menor el capital en la estrategia EP con ARIMA ya que en momentos bajistas si se realiza una previsión en dólares.

Tabla 7. Indicadores de rentabilidad y riesgo del modelo con ARIMA

	Retornos Anualizados	SD Anualizada	Sharpe Anualizado (Rf=0%)	Money Weighted Return
EP con ARIMA	5,26%	19,73%	0,27	10,44%
EP	5,34%	19,09%	0,28	10,26%
DCA	5,10%	20,21%	0,25	10,48%

Nota: La tabla muestra los indicadores anualizados de rentabilidad (retornos y money weighted return) y riesgo (SD y Sharpe) de la estrategia periódica con modelo ARIMA y del Dollar Cost Averaging.

, se calcularon los retornos logarítmicos diarios acumulativos y la caída máxima tanto para la estrategia EP ajustada por el modelo ARIMA como para el DCA. Los resultados revelan que la estrategia EP ajustada continúa superando en retorno diario al DCA, gracias a la capacidad del modelo predictivo de anticipar tendencias bajistas y de mitigar consecuentemente las pérdidas en las inversiones.

Además, según los indicadores presentados en la **Error! Reference source not found.**, la estrategia EP, cuando se ajusta con el modelo predictivo, exhibe un rendimiento superior al método de Dollar Cost Averaging (DCA), con un retorno anualizado del 5,26% comparado con el 5,10% del DCA, y una menor volatilidad reflejada en una desviación estándar del 19,73%. Aunque el modelo EP sin ARIMA tiene rendimiento anualizado superior, un sharpe ligeramente mayor y una desviación estándar menor, es la versión ajustada con ARIMA la que destaca, aumentando el Money Weighted Return en 0,44 puntos porcentuales hasta el 10,44%, superando tanto al EP sin ARIMA y estando solo 0,04 puntos porcentuales por debajo del DCA.

Este incremento en el rendimiento ponderado por dinero evidencia la eficacia del ajuste estratégico que aprovecha los periodos alcistas identificados por el modelo predictivo. Este método de inversión total de capital en momentos previstos de tendencia positiva optimiza los beneficios, lo que demuestra la utilidad de integrar análisis predictivos en la toma de decisiones de inversión para mejorar los resultados ajustados por riesgo.

Con respecto al rendimiento relativo representado en la **Error! Reference source not found.** se puede observar que nuevamente el DCA sigue superando a la estrategia EP aun así se haya realizado el ajuste del modelo predictivo, la diferencia es que aplicando el ARIMA se notan pérdidas menos pronunciadas. Este comportamiento se atribuye a que durante los periodos alcistas ya hay una mayor cantidad de capital invertido en el índice, no obstante, sigue siendo

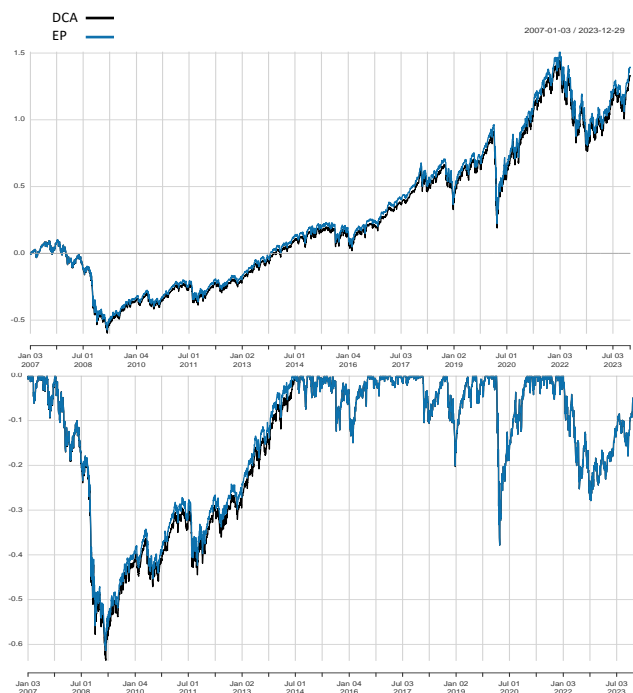
menor el capital en la estrategia EP con ARIMA ya que en momentos bajistas si se realiza una previsión en dólares.

Tabla 7. Indicadores de rentabilidad y riesgo del modelo con ARIMA

	Retornos Anualizados	SD Anualizada	Sharpe Anualizado (Rf=0%)	Money Weighted Return
EP con ARIMA	5,26%	19,73%	0,27	10,44%
EP	5,34%	19,09%	0,28	10,26%
DCA	5,10%	20,21%	0,25	10,48%

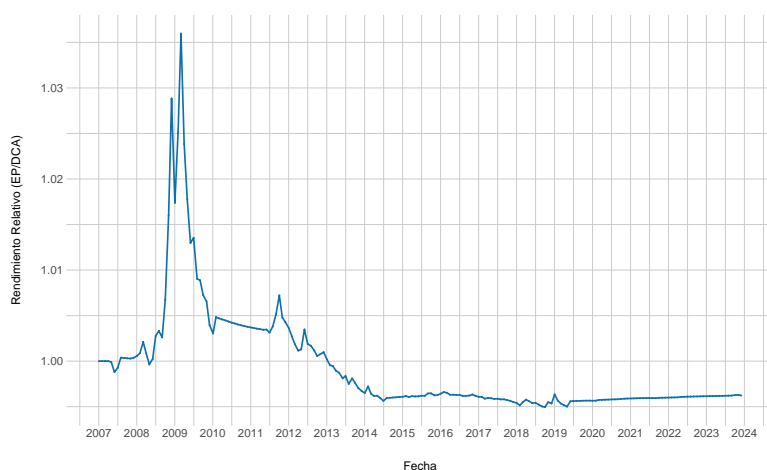
Nota: La tabla muestra los indicadores anualizados de rentabilidad (retornos y money weighted return) y riesgo (SD y Sharpe) de la estrategia periódica con modelo ARIMA y del Dollar Cost Averaging.

Figura 5. Retornos acumulativos y caída máxima del modelo con ARIMA



Nota: La figura ilustra los retornos acumulativos y la caída máxima de la estrategia periódica con modelo ARIMA (serie azul) y del Dollar Cost Averaging (serie negra).

Figura 6. Rendimiento relativo entre EP con ARIMA y DCA



Nota: La figura ilustra el rendimiento relativo entre la estrategia periódica con modelo ARIMA y del Dollar Cost Averaging.

Tras llevar a cabo simulaciones de inversión durante periodos de dos y cinco años con la Estrategia de Inversión Periódica (EP) ajustada por el modelo predictivo, se evidencia que el ajuste optimiza el desempeño del indicador de Money Weighted Return. En la simulación de dos años, la estrategia EP con ARIMA superó al método Dollar Cost Averaging (DCA) en el 21,49% de las iteraciones, frente al 21,17% del EP sin ARIMA. Para el intervalo de cinco años, la mejora es aún más significativa: el EP con ARIMA excede al DCA en el 9,26% de las iteraciones, en comparación con solo el 7,17% del EP sin ajuste. Esta ventaja se debe a que, durante las tendencias alcistas, el EP ajustado invierte más capital en el índice, lo que resulta en un aumento apreciable de este indicador y sobre todo en un periodo más extenso como lo es el de 5 años.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que el hecho de mantener una mayor proporción de capital invertido en el índice impacta durante los periodos de tendencia bajista. A pesar de que esto pueda afectar negativamente a los indicadores de retorno anualizado, la ratio de Sharpe y la desviación estándar (SD), los resultados de la EP con ARIMA siguen siendo más favorables que

los del DCA. Esto ocurre porque la estrategia, incluso en momentos bajistas, conserva una reserva de efectivo que atenúa el impacto de las caídas en el precio del índice.

Tabla 8. Simulación dinámica de 2 años incluyendo EP con ARIMA

	Money Weighted Returns	Retorno Anualizado	Sharpe (Rf=0%)	SD
Número de simulaciones	4742	4742	4742	4742
EP con ARIMA Superior	21,49%	33,57%	57,65%	94,83%
EP Superior	21,17%	34,35%	72,78%	100,00%
EP con ARIMA Media	10,76%	6,62%	0,59	18,52%
EP Media	10,16%	6,30%	0,62	17,09%
DCA Media	11,12%	6,74%	0,59	19,00%
EP con ARIMA Estándar	12,28%	12,81%	0,69	7,52%
EP Desviación Estándar	11,63%	12,13%	0,72	7,48%
DCA Desviación Estándar	12,70%	13,26%	0,71	7,80%

Nota: La tabla muestra los resultados de la simulación dinámica de 2 años (4742 simulaciones) de la estrategia periódica (con modelo ARIMA) y del Dollar Cost Averaging.

Tabla 9. Simulación dinámica de 5 años incluyendo EP con ARIMA

	Money Weighted Returns	Retorno Anualizado	Sharpe (Rf=0%)	SD
Número de simulaciones	4742	4742	4742	4742
EP con ARIMA Superior	9,26%	23,24%	66,66%	99,62%
EP Superior	7,17%	22,90%	70,46%	100,00%
EP con ARIMA Media	11,47%	8,40%	0,55	17,89%
EP Media	11,09%	8,19%	0,57	16,88%
DCA Media	11,68%	8,54%	0,55	18,23%
EP con ARIMA Estándar	3,54%	5,61%	0,36	4,36%
EP Desviación Estándar	3,44%	5,23%	0,36	4,27%
DCA Desviación Estándar	3,60%	5,71%	0,36	4,49%

Nota: La tabla muestra los resultados de la simulación dinámica de 5 años (4742 simulaciones) de la estrategia periódica (con modelo ARIMA) y del Dollar Cost Averaging.

CONCLUSIONES

Esta tesis demuestra que la utilización de medias móviles y modelos predictivos permiten mejorar los resultados de estrategias de inversión periódica. A través del análisis de periodos rodantes, se observó que la mejora en los rendimientos ajustados al riesgo y la reducción de riesgos se deben a la provisión estratégica de capital durante periodos bajistas del mercado. Estos hallazgos indican que, aunque inicialmente la estrategia se plantea para periodos medianos a largos, es más efectiva en intervalos cortos debido a que el impacto de los aportes periódicos disminuye con el tiempo en relación con el capital total invertido.

Al igual que la investigación de Kay (2019), esta tesis también identifica que las estrategias que emplean medias móviles son más efectivas cuando se aplican justo antes o durante correcciones del mercado. Los resultados refuerzan la importancia de las medias móviles como un componente fundamental en la construcción de estrategias de inversión que buscan capturar oportunidades en momentos de ajuste de precios.

La simulación de la estrategia en el índice SPY, conocido por su tendencia alcista, sugiere que es crucial expandir el alcance de la investigación a una variedad más amplia de índices y mercados para verificar y generalizar los resultados obtenidos. Tal expansión no solo confirmaría la efectividad de las estrategias en diversos entornos de mercado, sino que también proporcionaría una comprensión más profunda de cómo las condiciones de mercado específicas pueden afectar el desempeño de las estrategias de inversión.

En cuanto al manejo de los activos no invertidos, aunque inicialmente se optó por mantener el efectivo en dólares por simplicidad, es recomendable que investigaciones futuras exploren la inclusión de activos con correlaciones negativas al índice de referencia. Esta

diversificación podría funcionar como un colchón efectivo contra las fluctuaciones del mercado y podría, en última instancia, mejorar los rendimientos ajustados al riesgo.

Además, dado el potencial de estas estrategias para ser implementadas antes de las caídas del mercado, sería beneficioso considerar su aplicación dentro de un enfoque de inversión más amplio, particularmente en mercados con alta incertidumbre. La exploración de diferentes métodos para aplicar las herramientas de análisis técnico y los modelos predictivos podría revelar nuevos enfoques que mejoren la adaptabilidad y eficacia de las estrategias en variadas condiciones de mercado. La inclusión de rebalanceo del portafolio puede transformar la estrategia hacia un enfoque más activo, lo cual podría abrir nuevas vías para maximizar los beneficios a largo plazo.

REFERENCIAS

1. Ball, R., & Brown, P. (1968). An Empirical Evaluation of Accounting Income Numbers. *Journal of Accounting Research*, 6(2), 159–178. <https://doi.org/10.2307/2490232>
2. Balvers, R. J., & Mitchell, D. W. (2000). Efficient gradualism in intertemporal portfolios. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 24(1), 21–38. [https://doi.org/10.1016/S0165-1889\(98\)00066-9](https://doi.org/10.1016/S0165-1889(98)00066-9)
3. Balvers, R., Wu, Y., & Gilliland, E. (2000). Mean Reversion across National Stock Markets and Parametric Contrarian Investment Strategies. *The Journal of Finance*, 55(2), 745–772. <https://doi.org/10.1111/0022-1082.00225>
4. Basak, S., Kar, S., Saha, S., Khaidem, L., & Dey, S. R. (2019). Predicting the direction of stock market prices using tree-based classifiers. *The North American Journal of Economics and Finance*, 47, 552–567. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2018.06.013>
5. BROCK, W., LAKONISHOK, J., & LeBARON, B. (1992). Simple Technical Trading Rules and the Stochastic Properties of Stock Returns. *The Journal of Finance*, 47(5), 1731–1764. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1992.tb04681.x>
6. Brock, W., Lakonishok, J., & LeBaron, B. (1992). Simple Technical Trading Rules and the Stochastic Properties of Stock Returns. *The Journal of Finance*, 47(5), 1731. <https://doi.org/10.2307/2328994>
7. Box, G. E., & Jenkins, G. M. (1976). *Time series analysis: forecasting and control*. Holden dsy. Inc. California.

8. Constantinides, G. M. (1979). A Note on the Suboptimality of Dollar-Cost Averaging as an Investment Policy. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 14(2), 443. <https://doi.org/10.2307/2330513>
9. Cowles, A. (1933). Can Stock Market Forecasters Forecast? *Econometrica*, 1(3), 309. <https://doi.org/10.2307/1907042>
10. Day, M.-Y., & Ni, Y. (2023). Be greedy when others are fearful: Evidence from a two-decade assessment of the NDX 100 and S&P 500 indexes. *International Review of Financial Analysis*, 90. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2023.102856>
11. De BONDY, W. F. M., & THALER, R. (1985). Does the Stock Market Overreact? *The Journal of Finance*, 40(3), 793–805. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1985.tb05004.x>
12. Dunham, L. M., & Friesen, G. C. (2012). Building a Better Mousetrap: Enhanced Dollar-Cost Averaging. *The Journal of Wealth Management*, 15(1), 41–50. <https://doi.org/10.3905/jwm.2012.15.1.041>
13. Eugene F. Fama, & Marshall E. Blume. (1966). Filter Rules and Stock-Market Trading. *The Journal of Business*, 39(1), 226–241.
14. Ezra Solomon. (1948). Are Formula Plans What They Seem To Be? *The Journal of Business of the University of Chicago*, 21(2), 92–97.
15. Fama, E. F. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383. <https://doi.org/10.2307/2325486>
16. Fama, E. F. (1991). Efficient Capital Markets: II. *The Journal of Finance*, 46(5), 1575–1617. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1991.tb04636.x>
17. Fama, E. F., & French, K. R. (1988). Dividend yields and expected stock returns. *Journal of Financial Economics*, 22(1), 3–25. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(88\)90020-7](https://doi.org/10.1016/0304-405X(88)90020-7)

18. French, K. R. (2008). The Cost of Active Investing. SSRN Electronic Journal.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.1105775>
19. He, Y., & Wang, J. (2022). Does Market Timing Beat Dollar Cost Averaging? *Journal of Finance Issues*, 20(2), 10–24. <https://doi.org/10.58886/jfi.v20i2.3353>
20. He, Y., & Wu, C. (2001). Further Evidence on Mean Reversion in Index Basis Changes. *Financial Review*, 36(1), 95–124. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6288.2001.tb00006.x>
21. J. Fred Weston. (1949). Some Theoretical Aspects of Formula Timing Plans. *The Journal of Business of the University of Chicago*, 22(4), 249–270.
22. Jaeger, L. A. (2005). Factor Modelling and Benchmarking of Hedge Funds: Can Passive Investments in Hedge Fund Strategies Deliver? SSRN Electronic Journal.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.811185>
23. Jensen, M. C., & Benington, G. A. (1970). Random Walks and Technical Theories: Some Additional Evidence. *The Journal of Finance*, 25(2), 469-482.
<https://doi.org/10.2307/2325495>
24. Kay, J. (2019). Sunshine on a Cloudy Day: Evidence in Support of a Moving Average Strategy Across Down Markets Using ETFs. *Honors College*. 510.
<https://digitalcommons.library.umaine.edu/honors/510>
25. Khashei, M., Bijari, M., & Raissi Ardali, G. A. (2009). Improvement of Auto-Regressive Integrated Moving Average models using Fuzzy logic and Artificial Neural Networks (ANNs). *Neurocomputing*, 72(4–6), 956–967.
<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2008.04.017>

26. Kobiela, D., Krefta, D., Król, W., & Weichbroth, P. (2022). ARIMA vs LSTM on NASDAQ stock exchange data. *Procedia Computer Science*, 207, 3836–3845.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.09.445>
27. Li, J., Wang, X., Ahmad, S., Huang, X., & Khan, Y. A. (2023). Optimization of investment strategies through machine learning. *Heliyon*, 9(5), e16155.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16155>
28. Lin, E., & Xu, H. (2016). Modified Dollar Cost Averaging Investment Strategy: Evidence From Major Developed International Stock Markets. *Journal of Finance Issues*, 15(1), 20–30. <https://doi.org/10.58886/jfi.v15i1.2483>
29. Malkiel, B. G. (2003). Passive Investment Strategies and Efficient Markets. *European Financial Management*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.1111/1468-036X.00205>
30. Malkiel, B. G. (2003). The Efficient Market Hypothesis and Its Critics. *Journal of Economic Perspectives*, 17(1), 59–82. <https://doi.org/10.1257/089533003321164958>
31. Malkiel, B. G. (2005). Reflections on the Efficient Market Hypothesis: 30 Years Later. *The Financial Review*, 40(1), 1–9. <https://doi.org/10.1111/j.0732-8516.2005.00090.x>
32. Malkiel, B. G. (2019). *A random walk down Wall Street : the time-tested strategy for successful investing*. W. W. Norton & Company, Inc.
33. Marshall D. Ketchum. (1947). Investment Management Through Formula Timing Plans. *The Journal of Business of the University of Chicago*, 20(3), 156–169.
34. Miller, M. H., Muthuswamy, J., & Whaley, R. E. (1994). Mean Reversion of Standard & Poor's 500 Index Basis Changes: Arbitrage-Induced or Statistical Illusion? *The Journal of Finance*, 49(2), 479–513. <https://doi.org/10.2307/2329160>

35. Park, C., & Irwin, S. H. (2007). WHAT DO WE KNOW ABOUT THE PROFITABILITY OF TECHNICAL ANALYSIS? *Journal of Economic Surveys*, 21(4), 786–826. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2007.00519.x>
36. Poterba, J. M., & Summers, L. H. (1988). Mean reversion in stock prices. *Journal of Financial Economics*, 22(1), 27–59. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(88\)90021-9](https://doi.org/10.1016/0304-405X(88)90021-9)
37. Sanford J. Grossman, & Joseph E. Stiglitz. (1980). On the Impossibility of Informationally Efficient Markets. *American Economic Association*, 70(3), 393–408.
38. Schlanger, T. (2013). The case for index-fund investing. Vanguard Research. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:54517472>
39. Shleifer, A. (2000). *Inefficient Markets*. Oxford University PressOxford. <https://doi.org/10.1093/0198292279.001.0001>
40. Țițan, A. G. (2015). The Efficient Market Hypothesis: Review of Specialized Literature and Empirical Research. *Procedia Economics and Finance*, 32, 442–449. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01416-1](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01416-1)
41. Yan, X.-X., Zhang, Y.-B., Lv, X.-K., & Li, Z.-Y. (2016). Improvement and Test of Stock Index Futures Trading Model Based on Bollinger Bands. *International Journal of Economics and Finance*, 9(1), 78. <https://doi.org/10.5539/ijef.v9n1p78>
42. Zhu, Y., & Zhou, G. (2009). Technical analysis: An asset allocation perspective on the use of moving averages. *Journal of Financial Economics*, 92(3), 519–544. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2008.07.002>