

AUTORIZACIÓN DE USO DE DERECHOS DE AUTOR OTORGADO POR

JOSE LUIS PURATA ALDAZ, mayor de edad, con domicilio ubicado en _Abeto 551, Frac Arecas II, en Altamira, Tamaulipas_, en mi calidad de titular y autor de la tesis denominada **DESARROLLO DE TÉCNICAS ALTERNATIVAS EFICIENTES PARA PORTAFOLIOS DE INVERSIONES** _ quien para todos los fines del presente documento se denominará **EL AUTOR Y/O TITULAR**, suscribo el presente documento de autorización de uso de derechos patrimoniales de autor a favor del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero el cual se registrá por clausulas siguientes:

PRIMERA – AUTORIZACIÓN: **EL AUTOR Y/O TITULAR**, mediante el presente documento autoriza la utilización de los derechos patrimoniales de autor al Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, de la tesis denominada **DESARROLLO DE TÉCNICAS ALTERNATIVAS EFICIENTES PARA PORTAFOLIOS DE INVERSIONES** __, a través del Repositorio Institucional del Tecnológico Nacional de México (en lo sucesivo TecNM) y en el Repositorio Nacional, que puede ser consultado en la liga electrónica: (<https://www.repositorionacionalcti.mx/>).

SEGUNDA - OBJETO: Por medio del presente escrito, **EL AUTOR Y/O TITULAR** Autoriza al Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, a través del Repositorio Institucional del Tecnológico Nacional de México (en lo sucesivo TecNM) y en el Repositorio Nacional para que de conformidad con la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, use los derechos del documento antes referido, con fines exclusivamente académicos.

TERCERA - TERRITORIO: Los derechos aquí Autorizados se dan sin limitación geográfica o territorial alguna.

CUARTA – ALCANCE: La presente autorización se da tanto para formato o soporte material, y se extiende a la utilización en medio óptico, magnético, electrónico, en red, mensajes de datos o similar conocido o por conocer, del ejemplar o número respectivo de la publicación.

QUINTA – EXCLUSIVIDAD: La autorización de uso aquí establecida no implica exclusividad en favor del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero. Por lo tanto **EL AUTOR Y/O TITULAR** en su carácter de autor de la obra objeto del presente documento se reserva el derecho de publicar directamente, u otorgar a cualquier tercero, autorizaciones de uso similares o en los mismos términos aquí acordados.

SEXTA - DERECHOS MORALES (Créditos y mención): La Autorización de los derechos antes mencionados no implica la cesión de los derechos morales sobre los mismos por cuanto en conformidad con lo establecido en los artículos 18, 19, 20, 21, 22 y 23 de la Ley Federal de Derechos de Autor, dada la cuenta que estos derechos son inalienables, imprescriptibles, irrenunciables e inembargables. Por lo tanto, los mencionados derechos seguirán radicados en cabeza de **EL AUTOR Y/O TITULAR**, y siempre deberá mencionarse su nombre cuando se utilice la obra.

SÉPTIMA - AUTORIA: **EL AUTOR Y/O TITULAR**, declara y ratifica que el material objeto de la presente y fue realizada por él (o ella) sin violar o usurpar derechos de Propiedad Intelectual de terceros.

Ciudad Madero, Tamps. a _23_días del mes de _NOVIEMBRE_ de 2020.

Autor de la Tesis

JOSE LUIS PURATA ALDAZ
CVU 575671

Asesor de la Tesis

JUAN J. GONZALEZ BARBOSA
CURP GOBJ610514HTSNRN02

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA



TESIS
**DESARROLLO DE TÉCNICAS ALTERNATIVAS EFICIENTES PARA PORTAFOLIOS
DE INVERSIONES**

Que para obtener el Grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Presenta
Ing. José Luis Purata Aldaz

G18073007

Director(a):
Dr. Juan Javier González Barbosa

Codirector:
Dr. Juan Frausto Solís

OFICIO DE AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN (OFICIO ESCANEADO)



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Ciudad Madero
División de Estudios de Posgrado e Investigación

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Cd. Madero, Tam. **05 de noviembre de 2020**

OFICIO No. : U.049/20
ÁREA: DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS

ING. JOSÉ LUIS PURATA ALDAZ
No. DE CONTROL G18073007
PRESENTE

Me es grato comunicarle que después de la revisión realizada por el Jurado designado para su Examen de Grado de Maestra en Ciencias de la Ingeniería, se acordó autorizar la impresión de su tesis titulada:

"DESARROLLO DE TÉCNICAS ALTERNATIVAS EFICIENTES PARA PORTAFOLIOS DE INVERSIONES"

El Jurado está integrado por los siguientes catedráticos:

PRESIDENTE:	DR. JUAN JAVIER GONZÁLEZ BARBOSA
SECRETARIO:	DR. JUAN FRAUSTO SOLÍS
VOCAL:	DRA. GUADALUPE CASTILLA VALDEZ
SUPLENTE:	DR. LUCIANO AGUILERA VÁZQUEZ

DIRECTOR DE TESIS:	DR. JUAN JAVIER GONZÁLEZ BARBOSA
CO-DIRECTOR DE TESIS:	DR. JUAN FRAUSTO SOLÍS

Es muy satisfactorio para la División de Estudios de Posgrado e Investigación compartir con Usted el logro de esta meta. Espero que continúe con éxito su desarrollo profesional y dedique su experiencia e inteligencia en beneficio de México.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica
"Por mi patria y por mi bien"

JOSÉ AARÓN MELO BANDA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

c.c.p.- Archivo

JAMB 'MCI' 'ALMS'



Av. 1° de Mayo y Sor Juana I. de la Cruz Col. Los Mangos, C.P. 89440, Cd. Madero, Tam.
Tef. 01 (833) 357 48 20 ext. 3110, e-mail: direccion@tecnm.mx
www.tecnm.mx / www.cdmadero.tecnm.mx



DEDICATORIA

A tope de entusiasmo, cariño e ilusiones, dedico este trabajo a mis seres queridos, quienes siempre me impulsaron a dar lo mejor de mí.

A mi familia Eloísa, Pavel y Jade, que me apoyaron a lo largo de este tiempo que se construyó este proyecto.

A mis padres María Luisa y Jesús, por su apoyo incondicional, motivación y orgullo en mi vida.

A mi hermano Antonio que, allá donde esté, espero esté orgulloso de este esfuerzo.

A mi abuela Modesta, que nunca dejó de creer en mi.

A mi familia, amigos y compañeros, que sin su motivación, alegría y apoyo no habría llegado hasta este punto.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Gobierno de México por el apoyo económico brindado para la elaboración de esta investigación, así como al Instituto Tecnológico de Ciudad Madero por brindarme la oportunidad de continuar con mi desarrollo académico.

Gracias a los Drs. Barbosa, Frausto y Castilla por sus enseñanzas, apoyo y paciencia, dando como fruto este trabajo.

Agradezco a familia, Eloísa, Pavel y Jade, por siempre impulsarme a mejorar, a nunca rendirme.

A mis padres por todo su apoyo, por ser un ejemplo de superación.

Mis compañeros de generación, gracias por hacer amena mi estancia.

A mis maestros que participaron directa o indirectamente en este trabajo.

“DESARROLLO DE TÉCNICAS ALTERNATIVAS EFICIENTES PARA PORTAFOLIO DE INVERSIONES”

Ing. José Luis Purata Aldaz

Resumen

La asignación de activos es un problema de decisión, pues se debe elegir entre diferentes oportunidades de inversión. La teoría de portafolios describe cómo los inversores deben invertir y diversificar su riqueza, así como administrar sus riesgos que esto conlleva.

Existen dos tipos de inversores, el tolerante al riesgo el cual prefiere los portafolios que siempre brindan la oportunidad de obtener mejor rendimiento si se invierte en los instrumentos financieros adecuados y en las cantidades pertinentes, no importando el riesgo que se corra al invertir en dichas acciones. El segundo tipo son inversores que tienen aversión al riesgo, es decir que prefieren utilizar los portafolios de inversión para minimizar el riesgo ante posibles pérdidas, ambos casos se tratan de problemas multi-objetivo difíciles de resolver.

En este trabajo se propone un algoritmo evolutivo que ayuda maximizar la ganancia y minimizar el riesgo, utilizando un ajuste en la ecuación del Sharpe Ratio (SR) como ecuación objetivo o *fitness*, con lo cual se busca que la construcción de un portafolio de inversión se reduzca a un problema mono-objetivo

Para la experimentación se comparó el algoritmo propuesto (GenPo-Sharpe) contra el modelo de portafolio de Markowitz (MM), un algoritmo de programación cuadrática (QP) y una combinación del GenPo-Sharpe y QP. Los resultados obtenidos muestran que el algoritmo propuesto GenPo-Sharpe y la combinación del GenPo-Sharpe y QP obtienen los mejores resultados.

“DEVELOPMENT OF EFFICIENT ALTERNATIVE TECHNIQUES FOR INVESTMENT PORTFOLIO”

Eng. José Luis Purata Aldaz

Abstract

Asset allocation is a decision problem, as you must choose between different investment opportunities. Portfolio theory describes how investors should invest and diversify their wealth, as well as manage their associated risks.

There are two types of investors, the risk-tolerant one who prefers portfolios that always provide the opportunity to obtain better returns if invested in the appropriate financial instruments and the relevant amounts, regardless of the risk incurred by investing in such actions. The second type are risk-averse investors, in other words, they prefer to use investment portfolios to minimize the risk of possible losses, both cases are multi-objective problems difficult to solve.

In this work an evolutionary algorithm is proposed that helps maximize profit and minimize risk, using an adjustment in the Sharpe Ratio (SR) equation as the objective or fitness equation, which seeks to reduce the construction of an investment portfolio to a mono-objective problem.

For the experimentation, the proposed algorithm (GenPo-Sharpe) was compared against the Markowitz portfolio model (MM), quadratic programming (QP) algorithm, and a combination of GenPo-Sharpe and QP. The results obtained show that the proposed GenPo-Sharpe algorithm and the combination of GenPo-Sharpe and QP obtained the best results.

Contenido

1	Introducción	1
1.1	Planteamiento del Problema.....	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Justificación del estudio	2
1.4	Organización de la tesis	3
2	Instrumentos de inversión en México	4
2.1	Bolsa Mexicana de Valores.....	4
2.1.1	Activos	4
2.1.2	Organización	5
2.1.3	Reguladores y Reglamentos	6
2.1.4	Sectores financieros	8
2.2	Clasificación de mercados.....	10
2.2.1	Mercados estandarizados y no estandarizados	10
2.2.2	Mercados eficientes.	12
2.2.3	Mercados primario y secundario.	12
2.2.4	Mercado de valores.....	13
2.2.5	Mercado de deuda o de dinero.....	13
2.2.6	Mercado de divisas.	14
2.2.7	Mercado de capitales.....	14
2.2.8	Mercado de metales.	16
2.3	MEXDER.....	17
2.3.1	Futuros	17

2.3.2	Opciones.....	17
2.3.3	REITs o FIBRAs	18
2.3.4	Swaps	19
2.3.5	Swaps de Tasas de Interés (IRS).	20
2.4	Los riesgos de los instrumentos de inversión.....	20
3	Teoría de portafolios	22
3.1	Problemas de portafolios de inversión.....	22
3.2	Portafolios de inversión y su evaluación riesgos.....	23
3.3	Covarianza y correlación.....	24
3.4	El Modelo de Markowitz	24
3.5	La relación de Sharpe.....	26
4	Computación evolutiva y algoritmos genéticos	28
4.1	La evolución	28
4.2	Computación evolutiva	29
4.2.1	Programación Evolutiva.....	29
4.2.2	Estrategias Evolutivas.....	30
4.2.3	Algoritmo genético	30
4.2.4	Algoritmo Genético básico.....	31
5	Metodología Propuesta	34
5.1	Modelo de Optimización.....	34
5.2	Algoritmo GenPo-Sharpe.....	36
6	Experimentación	39

6.1	Descripción de los datos y diseño del experimento.....	39
6.2	Resultados de los experimentos.....	41
6.2.1	Riesgo o volatilidad	41
6.2.2	Sharpe Ratio	42
6.2.3	Correlación	42
6.3	Prueba estadística.....	44
7	Conclusiones y trabajos futuros.....	46
7.1	Conclusiones.....	46
7.2	Trabajo futuro	46

Índice Tablas

Tabla 1 Ejemplo de codificación de los activos en el AG.....	37
Tabla 2 Diseño del experimento.	39
Tabla 3 Resultados de la volatilidad.	41
Tabla 4 Resultados del SR.....	42
Tabla 5 Resultados de la correlación promedio.....	43
Tabla 6 Resumen de la prueba de Wilcoxon.	44
Tabla 7 Desempeño de métodos.	45
Tabla 8 Resumen de la prueba de Wilcoxon.	45
Tabla 9 Listado de activos analizados en el P1	54

Índice de Figuras

Figura 1 Organismos dependientes de la SHCP.....	7
Figura 2 Pseudo código del Algoritmo Genético básico.....	33
Figura 3 Pseudo código del Algoritmo GenPo-Sharpe.....	37
Figura 4 Correlaciones del MM y del GENPO-SHARPE.	43
Figura 5 Desempeño del Sharpe Ratio a lo largo de las generaciones.	55
Figura 6 Desempeño del riesgo a lo largo de las generaciones.	56
Figura 7 Retornos vs. Riesgo	57
Figura 8 Riesgo vs. Número de activos en el portafolio.....	58
Figura 9 Correlación promedio y el número de activos en portafolio.....	59
Figura 10 Correlación de los activos en el proceso evolutivo.....	60

Nomenclatura

En esta sección se contienen los símbolos o términos que se emplean en ecuaciones, diagramas o figuras que representan conceptos que se emplean en el documento presentado. Si no hay símbolos o términos que listar, no es necesario incluir esta sección.

BMV. - Bolsa Mexicana de Valores.

AG / GA.- Algoritmo genético, en inglés Genetic algorithm. Procedimientos que están basados en modelos de cambio genético en una población de individuos.

MM.- Modelo de Markowitz, referente a la teoría moderna de portafolio planteada por Harry Markowitz en 1952.

SR.- Sharpe Ratio, El índice de Sharpe es la medida del rendimiento ajustado al riesgo de una cartera financiera.

OTC. - Over the counter o mercado no estandarizado.

CETES. - Certificados de la Tesorería de la Federación.

BM. - Banco de México.

MEXDER. - Mercado Mexicano de Derivados.

REIT. - *Real Estate Investment Trust*, fondo de inversión en inmuebles.

FIBRAs. - Fideicomisos de Infraestructura y Bienes Raíces.

IPC. – Índice de Precios y Cotizaciones de México.

1 Introducción

Harry Markowitz en 1952 fue quien desarrollo enfoque de creación de portafolios que aun hoy en día se emplea, conocido como el modelo de media-varianza o para este trabajo llamado simplemente Modelo de Markowitz (MM), afirmando que un inversor racional debería maximizar el rendimiento esperado para un nivel de riesgo dado, o por otro lado, minimizar el riesgo para un determinado rendimiento esperado [1]. Estas dos premisas llevan a una frontera eficiente de portafolios, entre la cual el inversionista es libre de elegir según su preferencia de riesgo. En este marco, la varianza sirve como medida de riesgo de los activos analizados, mientras que la media (o valor esperado) es de utilidad para el cálculo de la ganancia esperada.

Muchos años han transcurrido desde entonces, sin embargo, el modelo de media-varianza sigue siendo el método preferido para la integración de portafolios, aun cuando ha mostrado ciertas deficiencias, pues en ocasiones asigna pesos excesivos a los activos con grandes retornos, independientemente de los posibles errores de estimación en la entrada de datos[2], [3]. Los portafolios que entrega este modelo pueden ser inestables y las ganancias adicionales no compensan el exceso de costos de transacción debido a la reasignación excesiva [4].

Una amplia variedad de trabajos se han propuesto para la solución del problema anteriormente descrito, como el modelo de la semi-varianza media [5], modelo de objetivo medio [6], modelos de optimización de portafolio con lógica difusa [7]. Además de “Multi-Attribute Portfolio Selection with Genetic Optimization Algorithms” el cual utiliza Algoritmos Genéticos (AG), algoritmos que simulan el comportamiento de genes y organismos vivos, para resolver un problema de selección de cartera de múltiples

atributos [8], “Portfolio Selection Using Genetic Algorithm” usa AG para la asignación de valores a los activos del portafolio y obtener un portafolio óptimo [9]; “Análisis de portafolio por sectores mediante el uso de algoritmos genéticos: caso aplicado a la Bolsa Mexicana de Valores” que emplea 2 indicadores y AG para analizar carteras por sectores en México [10]; “Optimización de un portafolio de inversión con algoritmos genéticos: caso Bolsa Mexicana de Valores 2015” que emplea AG para asignar valores de inversión a los activos buscando el máximo rendimiento posible [11].

1.1 Planteamiento del Problema

A diferencia de trabajos citados previamente donde solo se consideran unos cuantos activos candidatos, o clasificados en sectores, en este estudio se eligen un amplio espectro de activos.

El algoritmo propuesto en este trabajo utiliza la serie de tiempo de los precios diarios de cierre con el fin de calcular los indicadores para obtener el Sharpe Ratio (SR) [12] del portafolio, éste es una medida del exceso de rendimiento de la cartera sobre la tasa libre de riesgo en relación con su riesgo. El SR se utiliza como función de evaluación en el algoritmo que evoluciona a través de las diferentes soluciones (carteras) en un proceso de búsqueda para maximizar el valor de Sharpe. La metodología que se utiliza se enfoca en integrar el portafolio buscando una diversificación de los activos y una minimización del riesgo a través del modelo propuesto por Sharpe [13], usando como herramienta la correlación entre los activos candidatos [14][15].

Con el método anterior, se obtienen conjuntos de soluciones (portafolios) que maximizan el Sharpe Ratio y minimizan el riesgo, ofreciendo al inversionista un conjunto de opciones para elegir lo que mejor le convenga. Conocer, estudiar y evaluar las opciones para la toma de decisiones es responsabilidad de un analista financiero. Evaluar el riesgo requiere de una combinación de experiencia y de modelos que soporten la decisión de invertir en uno o varios bienes. El riesgo no sólo involucra incertidumbre sino también oportunidades de inversión [16]. El riesgo es medible a través de la varianza y covarianza; sin embargo, al manipular grandes cantidades de información, es necesario emplear herramientas poderosas que permiten su evaluación.

Con todo lo anterior mencionado, este trabajo propone que, en lugar de buscar minimizar el riesgo como función objetivo, maximizar el rendimiento y minimizar la correlación como restricciones (un problema de programación lineal), reducir el problema a un función objetivo basada en la ecuación de Sharpe que tiene implícitas las restricciones descritas y la única restricción que se tiene son los pesos o ponderaciones que se asignan los activos.

1.2 Objetivos

Objetivo General

Aplicar y evaluar una técnica alternativa eficiente para integrar portafolios de inversiones dentro de la bolsa mexicana de valores

Objetivos específicos

1. Analizar métodos tradicionales para minimización de riesgo y optimización en el portafolio de inversiones.
2. Analizar métodos alternativos para minimización de riesgo y optimización en el portafolio de inversiones.
3. Análisis acciones candidatas a integrar el portafolio de inversiones.
4. Comparar precisión y eficiencia entre métodos dentro del marco de la BMV

1.3 Justificación del estudio

Tradicionalmente las investigaciones realizadas en este campo experimentan con *benchmark* mientras que este trabajo utiliza información histórica del Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) para probar la metodología propuesta.

Este este problema no es fácil de resolver, ya que es un problema multi objetivo, por lo que se propone hacer una interpretación directa al utilizar la métrica de Sharpe y la correlación como instrumentos para obtener portafolios de alto desempeño. Para la aplicación de la

estrategia planteada en este trabajo se recurre a un algoritmo genético y a un método de calificación según el SR para la selección de activos, creación y evaluación del portafolio. El método de calificación de SR ya ha sido evaluado y se observó gran desempeño, como se mostró en “Diseño de portafolios de inversión con activos de alto riesgo a través del modelo de media varianza” .

1.4 Organización de la tesis

Este trabajo está organizado en seis capítulos que incluyen la introducción, la cual describe brevemente los principios de creación de portafolio, la problemática que representa el establecer objetivos y restricciones y como con una ecuación que conjunta objetivo y restricciones combinado con algoritmos genéticos se pueden obtener portafolios atractivos al inversionista. El capítulo dos desarrolla los conceptos de financieros pertenecientes a la Bolsa Mexicana de Valores, así como de los instrumentos financieros que pudieran integrar el portafolio, además de revisar los reguladores y reglamentos que enmarcan al mercado bursátil mexicano. El capítulo tres muestra el concepto de portafolio y la teoría desarrollada por Markowitz, así como sus relaciones matemáticas, el principio del Sharpe Ratio y como se emplea para comparar la rentabilidad y riesgo de un instrumento contra un instrumento de inversión libre de riesgo, así mismo se menciona como la correlación entre activos juega un papel importante en la diversificación de un portafolio. El capítulo cuatro se realiza una revisión de la computación evolutiva y algoritmos genéticos, que como se explora en éste capítulo, estas estrategias computacionales permiten, entre otros rubros, integrar portafolios de inversión. El capítulo cinco describe la metodología propuesta, la ecuación propuesta que sirve como función objetivo del algoritmo genético, el pseudocódigo del AG. La experimentación se muestra en el capítulo seis describiendo las instancias y los métodos que se emplean para conjuntar y evaluar portafolios, así como una prueba de contraste estadística para determinar las diferencias entre métodos. Finalmente, en el capítulo siete se dan las conclusiones y las perspectivas futuras de esta investigación.

2 Instrumentos de inversión en México

2.1 Bolsa Mexicana de Valores

La Bolsa Mexicana de Valores (BMV) es una entidad financiera que opera bajo concesión de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), con apego a la Ley de Mercado de Valores en la República Mexicana[17]. Es el lugar donde se realizan las operaciones del mercado de valores organizado en México, teniendo como objeto el facilitar transacciones y desarrollar el mercado bursátil, fomentar su expansión y competitividad. Sus principales funciones radican en:

- Establecer un lugar que facilite los procesos de emisión y colocación en intercambio de valores, títulos y demás instrumentos de crédito.
- Proporcionar y mantener publica la información relativa a los valores, cotizaciones y emisoras.
- Establecer medidas necesarias para la realización de operaciones
- Expedir normas, estándares y esquemas operativos de conducta, practicas justas y equitativas.

2.1.1 Activos

La BMV lo define activos como aquellas proporciones iguales en que se divide el capital social de una empresa; es decir son la fracción del capital social de dicha empresa [17]. Dicho de otra manera, los activos son fuente de financiamiento importante para las empresas. Son emitidos por sociedades mercantiles. Al tenedor o comprador de dichas acciones adquiere derechos y se le considera socio de la empresa, es decir que posee una parte de la empresa.

Cabe destacar que activos o valores, es una forma genérica de llamar a los instrumentos financieros de inversión, como las acciones, bonos, activos financieros, títulos, etc. como una traducción cercana a los términos utilizados en inglés para *assets*, *stocks*, *bonds* y *securities*.

2.1.2 Organización

Las actividades financieras se encuentran divididas en los siguientes grupos.

- *Bancos comerciales o institución de crédito, o de banca múltiple.*

Son empresas que a través de varios productos captan, es decir, reciben el dinero del público (ahorradores e inversionistas) y lo colocan, es decir, lo prestan a las personas o empresas que lo necesitan y que cumplen con los requisitos para ser sujetos de crédito.

- *Banco de desarrollo o banco de segundo piso, o banco de fomento.*

Son bancos dirigidos por el Gobierno Federal cuyo propósito es desarrollar ciertos sectores como la agricultura, autopartes, textil etc. Se dedican principalmente a atender y solucionar problemáticas de financiamiento de tipo regional o municipal, también este tipo de Instituciones se dedica a fomentar ciertas actividades como la exportación, desarrollo de proveedores, creación de nuevas empresas entre otras. Se les dice de segundo piso porque sus programas de apoyo o líneas de financiamiento la realizan a través de los bancos comerciales que quedan en primer lugar ante las empresas o usuarios, que solicitan el préstamo.

- *Sociedades financieras de objeto limitado o SOFOLES.*

Se pueden denominar bancos especializados porque prestan a un sector en particular (agrícola construcción, maquiladoras, etc.) o actividad, sólo que en lugar de recibir depósitos para captar recursos tienen que obtener dinero mediante la colocación de valores o solicitando créditos.

- *Banco del Ahorro Nacional y Servicios Financieros.*

Institución de tipo Banca de Desarrollo cuyo propósito es promover el ahorro, el financiamiento y la inversión, así como ofrecer instrumentos y servicios financieros entre los integrantes del sector. Dicho sector está conformado por las Entidades de Ahorro y Crédito Popular las cuales son: Sociedades Cooperativas de Ahorro y Préstamo y Sociedades Financieras Populares (antes cajas populares, cajas solidarias, sociedades de ahorro y préstamo, etc.).

2.1.3 Reguladores y Reglamentos

cómo se mencionó anteriormente este trabajo sí arroja en un marco de un mercado bursátil estandarizado regulado por la legislación mexicana Es por ello por lo que es importante conocer cuáles son los entes reguladores del sistema financiero mexicano que permiten mantener un control en toda operación y funcionamiento, además de fungir como agentes de mediación y vigilancia, nuestro Sistema Financiero está regulado por:

La Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (SHCP)

La Comisión Nacional Bancaria y de Valores. (CNBV)

La Comisión Nacional de Seguros y Fianzas. (CNSF)

La Comisión Nacional del Sistema de Ahorro para el Retiro. (CONSAR)

La Comisión Nacional para Protección y Defensa de los Usuarios de los Servicios Financieros. (CONDUSEF)

Institución para la Protección al Ahorro Bancario (IPAB)



Figura 1 Organismos dependientes de la SHCP

Fuente: Rankia.mx

Dentro de la Legislación Financiera existen múltiples leyes y reglamentos, dentro de los cuales se pueden enlistar los siguientes [18]:

- Ley del Mercado de Valores
- Ley de Sociedades de Inversión
- Código de Ética Profesional de la Comunidad Bursátil Mexicana
- Reglamento Interior de la BMV
- Circulares de la Comisión Nacional Bancaria y de Valores.
- Ley de instituciones de crédito
- Ley para agrupaciones financieras
- Ley General de Organizaciones y Actividades Auxiliares del Crédito
- Ley de la Comisión Nacional Bancaria y de Valores.
- Ley de Ahorro y Crédito Popular

- Ley de los Sistemas de Ahorro para el Retiro
- Ley de Protección al Ahorro Bancario
- Ley de Transparencia y Fomento a la Competencia en el Crédito Garantizado
- Ley Federal de Instituciones de Fianzas
- Ley General de Instituciones y Sociedades Mutualistas de Seguros
- Ley Orgánica del Banco del Ahorro Nacional y Servicios Financieros
- Ley Orgánica del Banco Nacional de Comercio Exterior
- Ley Orgánica de Nacional Financiera
- Ley Orgánica de Sociedad Hipotecaria Federal
- Ley Orgánica de la Financiera Rural
- Ley para la Transparencia y Ordenamiento de los Servicios Financieros
- Ley para Regular las Sociedades de Información Crediticia

2.1.4 Sectores financieros

Sector Bancario.

El sector Bancario es el que tiene mayor injerencia en el Mercado de Valores, en la economía nacional y la sociedad. La banca transforma los depósitos de los clientes, por medio del dinero que se depositan, en fuente de financiamiento para proyectos productivos sin que tengan conocimiento de qué se hizo directamente con sus recursos.

Dentro del Sector se incluye tanto la conocida como Banca Comercial, algunos de los bancos que participan son: Banamex, BBVA, Banorte, Scotiabank, etc. Y también algunos otros bancos con otros giros como la Banca de Desarrollo, Bancomext, Nafinsa, etc.

Sector No Bancario de servicios complementarios o paralelos.

Este sector es mejor conocido como el de empresas auxiliares de crédito y está conformado por: Casas de Cambio, Uniones de Crédito, Factoraje y Arrendadoras, Sociedades de Ahorro y Préstamos, SOFOLES, etcétera. Para este sector se pueden encontrar una gran variedad de

instrumentos de deuda, los que también pueden ser utilizados como, instrumentos de financiamiento que aplican un riesgo alto.

Sector Bursátil.

Este sector es el encargado de canalizar los recursos de inversionistas directamente con los demandantes de crédito, las que son más comunes son las empresas privadas o de gobierno. Para este caso el cliente que cuenta con recursos a invertir tiene el conocimiento suficiente sobre qué se hace con su dinero y a quién se está canalizando, pues las operaciones se realizan con títulos de crédito que representarán un pasivo o parte de capital de la empresa a quien le entrega recursos en préstamo.

El sector bursátil es mejor conocido por el sitio donde se realizan todas estas operaciones, como Mercado de Valores, fuente y objeto de estudio del presente trabajo de investigación.

Sector de Derivados.

Este sector representa al mercado donde se operan instrumentos que se derivan del mercado bursátil, o de contado, que implican pactar un precio de compra o venta a futuro de determinado activo financiero. Los participantes del mercado bursátil pueden formar parte de este sector siempre y cuando cumplan con determinados requisitos para operar.

Los clientes que invierten en este mercado deben ser considerados inversionistas calificados. Existen adicionalmente Instituciones especialistas que se encargan de garantizar el correcto funcionamiento del mercado, algunas de estas son la Cámara de Compensación, Socios Liquidadores, Socios Operadores, etc.

Sector de Seguros y Fianzas.

El sector de Seguros y Fianzas es el que se concentran las Instituciones dedicadas a ofrecer la cobertura sobre probables siniestros o accidentes de personales o corporativos que puedan generar pérdidas eventuales y que no hayan sido previstas. Adicionalmente, el sector de seguros puede funcionar como Institución fiduciaria para terceros y en otros casos como custodia de ahorro adicional de los asegurados que puede provenir de pagos de siniestros, depósitos voluntarios, etcétera.

Sector de Pensiones.

El sector de Pensiones es hoy en día el sector de más reciente inclusión dentro de los cinco mencionados; en ellos participan todas las Instituciones que administran los Fondos para el Retiro o Afores y las Sociedades de Inversión y Especializada de Fondos para el Retiro o también conocidas como SIEFORES. Estas Instituciones se dedican a recibir recursos de los trabajadores en activo para que al momento de jubilarse puedan contar con una pensión con la que mantener su retiro.

2.2 Clasificación de mercados

En el comportamiento de los precios está influenciado por las condiciones del mercado, así como el ejercicio de las empresas, industrias y el rendimiento de los instrumentos para invertir. Por ello es necesario identificar y clasificar los mercados donde se realizan los movimientos. Existen diferentes clasificaciones que se mencionan a continuación.

2.2.1 Mercados estandarizados y no estandarizados

Para hablar de mercados estandarizados, se debe establecer primero que es la estandarización. De la definición aplicada para el marco de las finanzas, la estandarización es el proceso de ajustar o adaptar características en un producto, servicio o procedimiento; con el objetivo de que éstos se asemejen a un tipo, modelo o norma en común.

La estandarización sigue fundamentalmente tres objetivos:

1. Simplificación: Reducir los modelos para quedarse únicamente con los más eficientes.
2. Unificación: Permitir el intercambio a nivel internacional.
3. Especificación: Evitar errores de identificación creando un lenguaje claro y preciso.

La estandarización permite solucionar dos limitaciones que caracterizan el mercado de valores y que se originan en el hecho de que las emisiones ofrecidas no presentan igualdad

en las características relevantes (tasa de interés, fecha de vencimiento, y monto), lo que genera que se den problemas de poca liquidez de valores y la ausencia de un precio de mercado. Por lo anterior, las ventajas que implica la estandarización son:

- a) Permite una mejor formación de precios.
- b) Mayor liquidez en el mercado secundario.
- c) Reducción de costos administrativos.
- d) Mayor planificación de los vencimientos.
- e) Creación de una masa de valores.

El mercado no estandarizado “*over the counter*”, más conocido como OTC o extrabursátil, está compuesto por una red electrónica, donde las partes negocian distintos contratos financieros. En dichas transacciones, se pueden negociar inversiones en divisas, *commodities* (materias primas), bonos, futuros, etc. Estas operaciones se llevan a cabo entre bancos, *brokers*, instituciones financieras y clientes corporativos [19].

Cuando las acciones se negocian en un contexto OTC, suele ser porque la compañía es pequeña y no cumple los requisitos para cotizar en bolsa. La mayoría de los bonos e instrumentos financieros de deuda no cotizan en mercados organizados y estandarizados y por ello son considerados instrumentos OTC.

La principal ventaja de operar en el mercado OTC es que se puede negociar con la otra parte un contrato que sea de beneficio mutuo. Como desventaja no olvidemos que, al no existir un órgano regulador, alguna de las partes puede que no cumpla con el contrato. Por eso, es fundamental buscar intermediarios con todas las licencias para prestar servicios de corretaje financiero.

El trabajo presentado aquí corresponde a activos cotizados en el mercado estandarizado como lo es la Bolsa Mexicana de Valores (BMV), y aunque el trabajo aquí puede perfectamente trabajar con los precios de cierre de las acciones, activos o cualquier otro instrumento del mercado de capitales, no se tiene la certeza sí la información proporcionada por los emisores

sea confiable, supervisada y regulada, por tanto, este proyecto se restringe únicamente a la Bolsa Mexicana de Valores.

2.2.2 Mercados eficientes.

Bajo la normatividad de cada país, los mercados están obligados a facilitar información veraz y oportunamente, si la información se apega a la realidad, se dice que los mercados son eficientes. Las situaciones sociales, políticas y económicas de cada región influyen en el comportamiento y desempeño de las empresas, así como de sus instrumentos de inversión. Es evidente que existe una variación entre la información entregada y la realidad, sobre todo por la dinámica actual, así que el precio de un instrumento difiere de una fuente a otra. El inversionista debe comparar al comprar un instrumento al precio más bajo y vender al encontrar un precio más alto. A lo anterior se le conoce como arbitraje. El ajuste de los precios se rige por oferta y demanda, ya que, a mayor volumen de compra, el precio sube, a mayor volumen de venta el precio disminuye. “Un mercado eficiente es aquel en el que los precios de los activos que en el cotizan reflejan en todo momento la información disponible en el mercado” [20].

2.2.3 Mercados primario y secundario.

En los mercados primarios la emisión de los productos se realiza y se verifica bajo determinados criterios de liquidez y solvencia, así como la valoración de los activos financieros se produce a través de agencias de rating.

La emisión se realiza mediante la definición de las características del producto a emitir y su colocación se lleva a cabo a través de agencias emisoras autorizadas que tengan una determinada reputación en el mercado, con la finalidad de que pueda ser negociado en el mercado secundario. Se puede decir que el mercado primario es el primer filtro de mercado y es fundamental para garantizar un buen control del instrumento financiero emitido [21].

En el mercado secundario se realiza la negociación de títulos emitidos previamente, es donde más clara se expresa la oferta y la demanda. Los inversores buscan obtener los precios más

competitivos con la finalidad de maximizar su rendimiento en un determinado horizonte de tiempo. En este mercado, los participantes ya tienen información acerca de las características del producto y pueden decidir con seguridad si comprar o vender el activo financiero en cuestión.

Este segmento de negociación debe respetar el anonimato de las partes que intervienen en la operación y la transparencia de sus precios. Además, debe exigir un mínimo de liquidez. Ya que la ausencia de liquidez provoca que el coste en las operaciones sea mayor ya que la diferencia entre el precio de compra y el precio de venta, en algunos casos, es muy elevada e incide directamente en el volumen negociado del activo y en su capitalización, además de que traslada al inversor este coste y hace más difícil obtener un beneficio en la operación.

2.2.4 Mercado de valores.

Es un espacio para los inversionistas, donde se da la compra y venta de acciones o instrumentos de deuda que permite a incrementar su capital y a los demandantes de recursos financiar sus proyectos de inversión. Los participantes pueden ser emisores, inversionistas, intermediarias y autoridades. Se rige bajo la Ley de Mercado de Valores [22].

El mercado de valores puede ser considerado como un motor financiero con diferentes propósitos. Por un lado, los inversores adquieren algún instrumento de inversión para acrecentar su patrimonio, por otra parte, las empresas consiguen una fuente de financiamiento adicional. La economía cualquier nación se ve beneficiada por el mercado bursátil.

Los inversores pueden adquirir acciones a partir de la oferta y demanda de títulos de una empresa o emisora que cotiza en la bolsa, o bien, obtener instrumentos financieros como bonos, créditos, deuda y derivados.

2.2.5 Mercado de deuda o de dinero.

Podemos definir al mercado de deuda donde organismos como el gobierno, instituciones de crédito o empresas paraestatales o privadas satisfacen sus necesidades de crédito en corto, mediano y largo plazo. Es el espacio en el cual inversionistas, emisores e intermediarios

pueden realizar operaciones de emisión, colocación distribución e intermediación de los valores de los instrumentos de deuda inscritos en el Registro Nacional de Valores.

En México, el mercado de deuda tiene sus orígenes en 1987, cuando el gobierno emite los Certificados de la Tesorería de la Federación (CETES). Desde entonces el gobierno mexicano ha lanzado diversos instrumentos que acompañan a los CETES, así mismo como bonos de tasa fija que van desde los 3 hasta los 30 años.

Los instrumentos de deuda se le llama títulos y son los documentos necesarios para hacer validos los derechos de una transacción financiera, es decir los títulos representan el compromiso del emisor (entidad) de pagar los recursos prestados, más un interés pactado o establecido previamente, al poseedor del título (o inversionista) en una fecha de vencimiento determinada.

Los emisores pueden ser el gobierno federal, empresas para estatales e instituciones públicas, empresas privadas, el Banco de México (BM), banca comercial y de desarrollo y gobiernos estatales y municipales.

Una de las principales ventajas de invertir en él es la liquidez que ofrece a los inversionistas a través de activos como certificados bursátiles o bonos. Además, se caracteriza por ser menos volátil que el mercado de capitales. Los inversores que prefieren participar en este mercado, en general, tienen un perfil conservador o moderado y buscan tiempos flexibles para tener acceso a sus recursos y cubrir sus obligaciones [23].

2.2.6 Mercado de divisas.

Como principal característica de este mercado se puede mencionar que está basado en los tipos de cambios fluctuantes, por lo que es altamente especulativo y por lo tanto de alto riesgo. Aquí se negocian divisas (monedas extranjeras) tales como el dólar.

2.2.7 Mercado de capitales.

Es aquel al que acuden los agentes del mercado para financiar proyectos para empresas o instituciones emisoras. Este mercado se caracteriza por el grado de riesgo de los emisores en el mercado de capitales que se extiende a un gran número de agentes; emisores públicos con

garantía del estado, emisores con alto nivel de riesgo, compañías con diferentes calificaciones crediticias o estados con diferentes niveles de riesgo. Mientras que los títulos emitidos del mercado monetario eran plenamente líquidos, en los mercados de capitales hay una gran diversidad de liquidez. Desde títulos de fácil colocación en el mercado secundario hasta títulos cuya estrategia habitual sea mantenerlos hasta vencimiento [24].

Este mercado se divide en renta fija, renta variable y mercado de crédito y derivados.

Mercado de renta fija

Aquí se negocian títulos de renta fija (bonos, letras, etc), y por tanto su poseedor es un acreedor de la empresa emisora. Los poseedores de activos de renta fija o de acciones tienen una posición jurídica distinta, y esto se verá reflejado en las obligaciones que cada uno debe afrontar ante un evento crediticio, las diferencias son notables.

Mercado de renta variable

Es el mercado donde se negocian acciones, conocido como la bolsa. Para ello, las empresas que cotizan en bolsa dividen su capital en partes y a eso es a lo que denominan acciones (participaciones en el capital de la empresa).

Las empresas pueden optar por poner todo o parte de sus acciones (capital) a la venta, normalmente mediante una Oferta Pública de Venta.

Por lo que respecta al mercado de renta variable, un indicador que se utiliza habitualmente para medir la importancia es la capitalización bursátil de los valores negociados en relación con el producto interior bruto (PIB), no obstante, los índices bursátiles de cada país, es la escala más usada en este mercado, Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) en México.

Mercado de crédito y derivados

Al mercado de crédito se le suele considerar dentro del mercado de renta fija. En este mercado, tienen lugar aquellas emisiones de bonos realizadas por empresas o entidades privadas (ya sean financieras o no). La gestión de este tipo de posiciones se suele realizar cubriendo

el componente de riesgo de tipo de interés, a través, de un derivado de tipo de interés (interestate swap -IRS, intercambio de flujos financieros), y gestionando luego lo que se conoce como spread de crédito (que es el porcentaje o puntos básicos que paga un emisor sobre el riesgo de crédito).

Hay que hacer mención del enorme crecimiento que ha tenido la operativa sobre derivados de crédito en los últimos años. En el caso de los derivados financiero, en general, al poder intervenir en cualquier mercado, dependiendo del tipo de derivado y del activo subyacente, podemos concluir con que está presentes en cualquier mercado.

2.2.8 Mercado de metales.

En el mercado financiero, hay cuatro tipos principales de metales que se pueden comerciar, estos son:

Ferrosos: el hierro y el acero.

No ferrosos: aluminio, el plomo y el cobre

Metales nobles: también son conocidos como metales preciosos e incluyen metales como el oro, el platino, paladio y la plata.

Pesados: plomo y arsénico.

En los mercados se emplean los metales preciosos. El oro se utiliza principalmente con fines de inversión y la fabricación de joyas, no tiene un uso significativo. La plata se utiliza en la fabricación de cubiertos, espejos y monedas. El platino y el paladio se utilizan en la industria de fabricación de vehículos. Sus propiedades los hacen ideales para la fabricación de convertidores catalíticos que ayudan a reducir la contaminación del aire.

Debido a que el oro no tiene usos normales, sus fundamentos son diferentes de otros metales preciosos que son más afectados por la oferta y demanda. Como se mencionó anteriormente, el oro se utiliza principalmente con fines de inversión. En este mercado se negocian certificados de plata. El rendimiento es determinado por la cotización que tenga en ese momento la onza troy de plata y el tipo de cambio peso dólar. Cada certificado ampara 100 onzas [25].

2.3 MEXDER

El Mercado Mexicano de Derivados, S.A. de C.V. (MEXDER) es una sociedad autorizada y por la SHCP. Esta sociedad ofrece Contratos de Futuro, Contratos de Opción y Contratos de Swaps. Estos instrumentos permiten fijar hoy el precio de compra o venta de un activo financiero (dólar, euros, bonos del Gobierno Federal, acciones, índices bursátiles y tasas de interés) para ser pagado o entregado en una fecha futura. Esto da la posibilidad de planear, cubrir y administrar riesgos financieros, así como optimizar el rendimiento de los portafolios de inversión [26].

Las instituciones básicas del Mercado de Derivados son La Bolsa de Derivados, la cual está constituida por MexDer, Mercado Mexicano de Derivados, S.A. de C.V. y su Cámara de Compensación, establecida como Asigna, Compensación y Liquidación, que es un fideicomiso de administración y pago.

2.3.1 Futuros

En los contratos de futuros se involucran dos partes y en la fecha fijada se estipula una acción obligatoria ya sea comprar o vender activos reales (*commodities*: metales, productos agrícolas, etc) o financieros a un precio previamente acordado sin importar la cotización que se tenga en el mercado, es aquí donde la decisión tomada de compra o venta puede representar pérdidas o ganancias.

2.3.2 Opciones

La inversión en opciones consiste en un contrato entre dos inversores, en donde se le otorga a uno de ellos, el derecho de comprar o vender un activo en un plazo anteriormente determinado y a un precio determinado.

Existen dos clases de opciones: las opciones de compra (*call*), que otorgan el derecho de compra a futuro y las opciones de venta (*put*) que dan el derecho a vender un activo en el futuro.

En ambos casos, quien compra el derecho, asume la posición de tomador y por ese derecho, debe pagar un precio llamado prima. Como contraparte existe un inversor, quien ejerce el rol de lanzador y se compromete a vender (o comprar) los títulos, cuando el tomador decida ejercer su derecho.

2.3.3 REITs o FIBRAs

REIT es el acrónimo de *Real Estate Investment Trust*, es decir, fondo de inversión en inmuebles. Son instrumentos populares en Estados Unidos, Canadá, Japón, Francia, Singapur, entre ellos. En Estados Unidos, se encuentran los de mayor volumen diario de operaciones, los REITs se originaron por una ley de 1960, la cual habilitó a los inversionistas individuales a comprar participaciones en este tipo de fondos [27].

Los requerimientos formales en Estados Unidos para los REITs son los siguientes:

- Invertir al menos el 75% de sus activos en inmuebles, efectivo o bonos del tesoro.
- Producir al menos el 75% de sus ingresos brutos de rentas de inmuebles, intereses de hipotecas o ganancias por la venta de inmuebles.
- Retribuir con al menos el 90% de sus ingresos netos anuales a sus accionistas.
- Tener al menos 100 accionistas durante el primer año de su constitución.

En México se tienen las FIBRAs, Fideicomisos de Infraestructura y Bienes Raíces, son un instrumento de inversión apreciado, ya que tienen como requisito distribuir entre los tenedores de los certificados bursátiles fiduciarios, cuando menos una vez al año y con el gran atractivo que como mínimo sea 95% del resultado del ejercicio fiscal inmediato anterior [28].

La BMV ha clasificado las FIBRAs por su diversificación sectorial como sigue: Comerciales, Industriales, Oficinas, Hoteleras, o incluso Mixtos; estos últimos combinan más de uno de los tipos de FIBRAs.

Integrar FIBRAs en un portafolio de inversión significa una inversión de valor a largo plazo y contribuye a diversificar la cartera de inversiones.

Los riesgos de invertir en FIBRAs se reducen ya que la inversión está respaldada por bienes inmuebles y por contratos de arrendamiento de estos. Como las FIBRAS tienen estructuras heterogéneas, esto ayuda a la diversificación del riesgo del portafolio de que formen parte.

Sin embargo, algunos riesgos que presenta toda FIBRA son:

- Encarecimiento de los inmuebles.
- Se dificulta la distinción de las emisoras en su real calidad a mayor demanda de inversión en la FIBRA que forman parte.
- Al ser renta variable puede presentar periodos negativos, por lo que se debe considerar como una inversión a medio y largo plazo.

Finalmente, las FIBRAs son instrumentos de inversión ideales para perfiles con alta tolerancia al riesgo para inversión en un periodo mínimo de cinco años.

2.3.4 Swaps

La traducción literal de la palabra swap es “intercambio, canje o permuta”. Los swaps financieros son contratos en el que dos contrapartes acuerdan intercambiar pagos futuros ya sea en diferentes monedas o en tasas de interés o una combinación de ambas. Por ejemplo: una empresa europea emite deuda en euros, su moneda local, y acude a una entidad financiera para que le intercambie sus euros por pesos, no solo en el momento inicial, sino para cada pago de intereses y principal en condiciones ya pactadas por el plazo del crédito. El tipo de cambio, como se puede ver, es un problema [29].

Los swaps tienen como características:

Su calidad, cantidad, fecha y lugar de entrega son negociados por las partes.

Los swaps tienen un alto riesgo de incumplimiento, ya que una de las partes puede incumplir (riesgo contraparte).

La mayoría no se encuentran listados en bolsas estandarizadas, sino negociados en Mercados OTC, aunque en la actualidad existe un Contrato de Swaps sobre Tasas de Interés en MexDer.

Los contratos operados no pueden ser cancelados o liquidados antes de su vencimiento, salvo previo consentimiento entre las partes involucradas. Con este tipo de derivados los inversionistas pueden especular sobre los movimientos de los instrumentos financieros para lograr una ventaja en su portafolio [30].

2.3.5 Swaps de Tasas de Interés (IRS).

Estos swaps son un acuerdo entre dos partes para intercambiar flujos de efectivo periódicos, en fechas previamente establecidas en el futuro y basadas en un monto denominado notional o también principal.

Los flujos de los Swaps están denominados en la misma moneda.

No se intercambian los montos principales o resultantes, únicamente el flujo de intereses.

Una parte tiene acceso a una tasa fija relativamente más barata; pero desean tener fondos a una tasa flotante.

Las contrapartes acceden a un financiamiento a tasa flotante que es más barato, pero desean tener una tasa fija. Al acceder a un Swap de tasas pueden obtener el financiamiento utilizando una ventaja comparativa.

2.4 Los riesgos de los instrumentos de inversión

Existen diversos tipos de riesgos (volatilidad) cuando se realiza una inversión, el riesgo es un nivel de incertidumbre que implica el no obtener los rendimientos estimados o incluso perder parte de la inversión realizada. Entre los riesgos existentes podemos mencionar a los riesgos de mercado, los riesgos de crédito, los riesgos tecnológicos u operativos.

Los riesgos de mercado se dan debido a que las condiciones político-económicas del país y las condiciones exteriores suelen ser cambiantes, y esto ocasiona que haya turbulencia en los valores de las tasas de interés, en las paridades y por supuesto en la situación de liquidez. Este tipo de riesgo es también conocido como riesgo sistemático, y por supuesto es imposible eliminarlo, pues esta fuera del control de los inversionistas, así que se debe aprender a manejarlo [31].

Los riesgos de crédito se refieren a la posibilidad que existe de incumplimiento de contrato, es decir, que el emisor no liquide su deuda. Esto puede suceder porque nada asegura la solvencia de la compañía, es decir, existe siempre la posibilidad de pérdida parcial o total.

El riesgo tecnológico u operativo radica en que las empresas pueden estar operando con tecnología obsoleta, empleando sistemas inadecuados ó realizar operaciones de manera equivocada, es decir, cometer errores administrativos, y todos estos factores por supuesto aumentan la incertidumbre de la inversión.

Mediante la información histórica del comportamiento de los instrumentos de inversión es posible realizar una medición del riesgo, esta medición requiere del empleo de técnicas estadísticas tales como el cálculo de la media o valor esperado, la varianza y la desviación estándar, más adelante se dará una descripción matemática de lo anterior mencionado [32] [33].

Es normal que existan oscilaciones en los valores de cierre de los activos, a esta oscilación se le conoce como riesgo de precio.

Aunque existen métodos alternos para calcular el riesgo, se trabaja únicamente con el modelo propuesto por Markowitz, dado la gran cantidad de información, se propone emplear un método de algoritmo genético en lenguaje Python, que nos permite acercarnos a portafolios eficientes y soluciones subóptimas, ventaja que se tiene sobre otros métodos.

Cuando las situaciones en el mercado cambian, el valor de los instrumentos de inversión puede verse afectado, ya sea positivamente o negativamente, un riesgo que puede minimizar el inversionista es el llamado riesgo no sistemático, el cual tiene que ver con el comportamiento de los instrumentos financieros, y lo que se busca aquí es que los cambios en los instrumentos financieros sean independientes, así se busca que no todos los instrumentos financieros disminuyan al mismo tiempo, reduciendo así el riesgo de pérdida.

3 Teoría de portafolios

El acto de invertir, es decir colocar efectivo en alguna empresa, activo o instrumento que, con el paso de algún determinado tiempo, genere un interés y por consiguiente una ganancia. Obtener altos dividendos con un solo instrumento es muy complicado, más aún la reducción del riesgo es inexistente, pues como se dice coloquialmente “no deben poner todos los huevos en una canasta”, es por ello por lo que existe la figura de la cartera de inversión o portafolio de inversiones.

Un portafolio de inversión es un conjunto de instrumentos financieros seleccionados para obtener un rendimiento y horizonte de riesgo adecuado al perfil. Es una selección de instrumentos que se cotizan en el mercado bursátil y en los que una persona o empresa deciden colocar o invertir su dinero. En una concepción más amplia, una cartera es un conjunto de activos afectos a una misma titularidad jurídica o sujetos a una unidad de gestión, tendentes a la consecución de ciertos objetivos previamente establecidos [34]. Algunos de los posibles instrumentos, ventajas y desventajas se analizaron en el capítulo anterior.

Un portafolio busca repartir el riesgo al combinar diferentes instrumentos como acciones, depósitos a plazo, efectivo, monedas internacionales, bonos, bienes raíces. A esto se le conoce como diversificar el portafolio (cartera) de inversión [35].

3.1 Problemas de portafolios de inversión

Enfoque estándar: dado un conjunto de activos preseleccionados se busca determinar la participación o peso de cada uno de los activos en un portafolio, típicamente se resuelve con

el modelo de Markowitz, mismo que se desarrolla más adelante, sin embargo, el problema de integrar portafolio involucra varias sub-fases que se pueden resolver bajo 2 tipos de situaciones:

- a) Integración estándar: Selección, Predicción, Optimización.
- b) Integración bajo situaciones caóticas.

Esta tesis está centrada en el inciso a), de forma que la integración de portafolios de inversión en el caso b esta fuera del alcance de este trabajo.

Si buscamos una analogía para la solución del problema de portafolio, encontraremos que es muy parecido al problema de la mochila (*Knapsack problem*), pues es un problema de optimización combinatoria, y es uno de los problemas NP-Complejos difundidos por Richard Karp desde 1972 [36].

3.2 Portafolios de inversión y su evaluación riesgos.

Las variaciones en los precios de las acciones se dan por múltiples razones, obviamente estas variaciones son riesgo para el inversionista. La clasificación de riesgos generalmente se da en riesgo sistemático y el riesgo no sistemático.

El riesgo sistemático es lo que se conoce como el riesgo del mercado y está relacionado a:

- Cambios en la economía por factores internos o externos,
- Cambios en las políticas de los países asociados
- Eventos como pandemias o guerras

Se entiende que es un riesgo que no puede compensarse adquiriendo una cierta diversidad de acciones. Esto es, es un riesgo no diversificable. El segundo, el riesgo no sistemático, se debe a factores propios o internos de la firma; es único de esa compañía y es independiente de los factores económicos, políticos o sociales. A este tipo de riesgo se asocian factores tales como huelgas, competencia, cambios tecnológicos, etc. Al ser intrínsecos de una acción, es posible compensar sus efectos comprando acciones de diversas industrias o sectores, de manera tal que, si un activo se ve afectado negativamente, se espera que a las otras no les suceda lo mismo y pueda compensarse el efecto negativo. Esto es, un riesgo diversificable. La diversificación de un portafolio permite entonces, reducir el riesgo no sistemático. Es

importante enfatizar que, por lo general, la diversificación reduce el riesgo -el no sistemático- pero no lo elimina totalmente, pues el riesgo sistemático no se puede eliminar.

3.3 Covarianza y correlación

Las relaciones entre el movimiento de los activos desempeñan un factor primordial para los tomadores de decisiones financieras y la diversificación ayuda la reducción del riesgo de un portafolio de inversión. A pesar de los beneficios de la diversificación, las estrategias de diversificación no han sido del todo desarrolladas [37].

Una de las formas de medir la relación entre dos variables aleatorias es la covarianza, la cual describe el valor esperado $E(X, Y)$ en función de dos variables aleatorias [38]. Mientras que la covarianza entre dos variables ($Cov(X, Y)$) o σ_{XY} , es:

$$\sigma_{XY} = E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)] \quad (1)$$

Otra manera para reconocer la relación entre variables es la correlación. Describe la fuerza de la relación entre dos conjuntos de variables en escala de intervalo o de razón. Se designa con la letra r (o r de Pearson) y coeficiente de correlación. Puede adoptar cualquier valor de 1.00 a -1.00, inclusive. Un coeficiente de correlación de 1.00 o -1.00 indica una correlación perfecta[39].

La correlación se describe como:

$$r = \frac{\sum(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)}{(n - 1)\sigma_X\sigma_Y} \quad (2)$$

O en términos de la Covarianza (ρ_{XY}):

$$\rho_{XY} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X\sigma_Y} \quad (3)$$

3.4 El Modelo de Markowitz

Harry Markowitz, autor de la teoría moderna de portafolios, propone en 1952 [1], la forma óptima de integrar un portafolio de inversión, lo cual lo plantea en términos de rentabilidad

y riesgo. Se hace notar que aún con una rentabilidad muy alta que tenga un portafolio de inversión, este deja de ser atractivo si su volatilidad (o riesgo) es muy alto; esto se debe a que conforme la volatilidad se incrementa enormemente, la probabilidad de perder recursos crece también de forma elevada.

Una característica típica de la teoría de Markowitz es que provee una solución cuantitativa a la asignación de activos del portafolio, ya que considera la posible compensación entre el rendimiento esperado y la exposición al riesgo entre valores o activos establecidos. Así, el problema de diseño de un portafolio de inversión es básicamente un problema de optimización multiobjetivo con dos objetivos principales [1]: maximizar del rendimiento y minimizar del riesgo.

$$\begin{aligned}
 \text{Maximizar } R(x) &= \sum_{i=1}^n E(R_i)x_i \\
 \text{Minimizar } V(x) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}x_ix_j \\
 \text{Sujeto a } \sum_{i=1}^n x_i &= 1 \\
 x_{i,j} &= 0 \quad (i, j = 1, 2 \dots, n)
 \end{aligned} \tag{4}$$

Donde

x_i : fracción (o peso) del capital con que contribuye el activo i ,

R_i : rendimiento del activo i ,

σ_{ij} : covarianza de los rendimientos de los activos i y j ,

$V(x)$: varianza del rendimiento de la cartera,

$R(x)$: retorno de inversión.

La trascendental aportación del modelo de Markowitz para la selección de un portafolio se encuentra en su utilidad para obtener los aspectos más importantes que orientan al inversionista racional en la selección e integración su portafolio. Maximizar la rentabilidad, sin perder de vista el riesgo o minimizando el riesgo sujeto a administrar el mejor rendimiento.

Como se puede observar, la integración de un portafolio se puede considerar como un problema de optimización, es decir resolver la integración del portafolio de la manera más eficiente posible y, en el mejor de los casos, utilizando la menor cantidad de recursos.

Aquí se tiene un conjunto de variables independientes (los activos x_i) y las restricciones son: la cantidad, proporción o peso de cada activo, que en combinación no debe superar el 100% de inversión, y dependiendo del enfoque, ya sea la varianza o el rendimiento serán la función objetivo o una restricción. Para el caso del rendimiento se busca maximizar, mientras que para la varianza se busca minimizar.

3.5 La relación de Sharpe

La Tasa de Sharpe (Sharpe Ratio o simplemente SR), es una medida financiera propuesta por William Sharpe [12] para determinar si la rentabilidad de una inversión se debe a una decisión inteligente o, por el contrario, es resultado de haber asumido un alto riesgo. Mide la rentabilidad sobre la volatilidad de una inversión, es decir calcula la rentabilidad ajustada según su riesgo, es muy sencillo de calcular. Cuanto mayor sea la tasa SR mejor.

Con la tasa SR se pueden comparar carteras con riesgos diferentes y saber cuál ha tenido más éxito, ya que se está administrando el riesgo. Esta relación financiera indica que tan buena es una inversión. Gracias al ajuste por riesgo es posible determinar qué inversión ha obtenido más rentabilidad de su riesgo; dicho de otra manera, cuanta rentabilidad adicional ha conseguido por invertir en activos financieros más arriesgados [40].

$$SR = \frac{Rp - Rfr}{\sigma_p} \quad (5)$$

Donde,

Rp: rendimiento del portafolio.

Rfr: rendimiento de la inversión libre de riesgo

σ_p : volatilidad del portafolio

Para este análisis la R_f fue tomado del valor de *Los Certificados de la Tesorería de la Federación* (CETES) [41] del gobierno mexicano, como un promedio en el periodo de tiempo del muestreo.

En todo momento, Sharpe se basa en el paradigma del modelo de Markowitz, que supone que la media (Valor esperado) y la desviación estándar (Riesgo) de la distribución del rendimiento en un período determinado son estadísticas suficientes para evaluar las perspectivas de una cartera de inversiones.

Cuando los cambios a través del tiempo son especialmente importantes, la media de retorno y la varianza pueden no ser suficientes, lo que requiere el uso de medidas complementarias o sustitutivas. Tales escenarios están fuera del alcance de este trabajo.

4 Computación evolutiva y algoritmos genéticos

4.1 La evolución

La teoría de la evolución que postuló Darwin tuvo una gran influencia en la segunda mitad del siglo XIX. Las ideas plasmadas en “*El Origen de las especies por la selección natural*”, publicado en 1859 son:

1. Los seres vivos no tienen una existencia estática, sino que se encuentran en constante cambio.
2. La vida se manifiesta como una lucha constante por la supervivencia.
3. La lucha por la supervivencia provoca que organismos que menos se adaptan a un entorno desaparezcan y que los mejores adaptados se reproduzcan, a este proceso se le llama selección natural.
4. La selección natural, el desarrollo y la evolución dependen de gran cantidad de tiempo.
5. Las variaciones genéticas que provocan un incremento de probabilidades de supervivencia son azarosas y no son provocadas cuestiones sobrenaturales o divinas ni por la tendencia de los organismos a buscar la perfección.

4.2 Computación evolutiva

El término “computación evolutiva” o “algoritmos evolutivos” engloba una serie de técnicas inspiradas en los principios de la teoría Darwiniana de la evolución natural. De manera general la simulación del proceso evolutivo en una computadora requiere:

- Codificar las estructuras que se replicarán (o sea, una estructura de datos que se utilice para acopiar a un “individuo”).
- Operaciones que perturben a los “individuos” (típicamente, son cruce y mutación).
- Una función de aptitud que muestre qué tan buena es una solución con respecto a las demás.
- Un mecanismo de selección que implemente el principio de “supervivencia del más apto”.

Aunque cada vez más difícil distinguir las diferencias entre los distintos tipos de algoritmos evolutivos existentes, por razones sobre todo históricas, suele hablarse de tres paradigmas principales, mencionados brevemente a continuación [42].

4.2.1 Programación Evolutiva

Propuesta en 1966 por Lawrence J. Fogel, en la cual la inteligencia se ve como un comportamiento adaptativo [42]. La Programación Evolutiva resalta los nexos de comportamiento entre padres e hijos, en vez de buscar emular operadores genéticos específicos (como en el caso de los Algoritmos Genéticos).

El algoritmo básico de la Programación Evolutiva es el siguiente:

- Generar aleatoriamente una población inicial.
- Se aplica mutación.
- Se calcula la aptitud de cada hijo y se usa un proceso de selección mediante torneo (normalmente estocástico) para determinar cuáles serán las soluciones que se retendrán.

La Programación Evolutiva es una abstracción de la evolución al nivel de las especies, por lo que no se requiere el uso de un operador de recombinación (diferentes especies no se pueden cruzar entre sí). Asimismo, usa selección probabilística.

Algunas de sus aplicaciones son [43]:

- Predicción
- Generalización
- Juegos
- Control automático
- Problema del viajero
- Planeación de rutas
- Diseño y entrenamiento de redes neuronales
- Reconocimiento de patrones

4.2.2 Estrategias Evolutivas

Las Estrategias Evolutivas fueron desarrolladas en 1964 en Alemania para resolver problemas hidrodinámicos de alto grado de complejidad por un grupo de estudiantes de ingeniería encabezado por Ingo Rechenberg [44].

La versión original (1+1)-EE usaba un solo padre y con él se generaba un solo hijo. Este hijo se mantenía si era mejor que el padre, o de lo contrario se eliminaba (a este tipo de selección se le llama extintiva, porque los peores individuos tienen una probabilidad cero de ser seleccionados).

Los operadores de recombinación de las Estrategias Evolutivas pueden ser:

Sexuales: el operador actúa sobre 2 individuos elegidos aleatoriamente de la población de padres.

Panmíticos: se elige un solo padre al azar, y se mantiene fijo mientras se elige al azar un segundo padre (de entre toda la población) para cada componente de sus vectores.

Algunas aplicaciones de las Estrategias Evolutivas son [45]:

Problemas de rutas y redes

Diseño en ingeniería

Bioquímica

Magnetismo

Óptica

4.2.3 Algoritmo genético

El algoritmo genético fue propuesto en 1975 por John H. Holland [46], este algoritmo imita el procedimiento de la selección natural sobre el espacio de soluciones del problema considerado, hacen evolucionar una población de individuos (soluciones) sometiéndola

a operaciones semejantes a las que actúan en la evolución biológica (mutación y cruza), así como también a una selección de acuerdo con algún criterio, en función del cual se decide cuáles son los individuos mejor adaptados, que sobreviven, y cuáles los menos aptos, que son descartados.

Los algoritmos genéticos o evolutivos son ampliamente usados para resolver problemas como lo son establecimiento de rutas o problemas VRP (*Vehicle Route Problem*) [47] y de transportación [48], programación de tareas (*Job Shop Scheduling*) [49], y como en este caso una situación similar al problema de la mochila.

4.2.4 Algoritmo Genético básico

El algoritmo genético crea un conjunto de soluciones iniciales para formar la población que sirve de base para la ejecución del algoritmo. Esta población inicial se crea de forma aleatoria; posteriormente entran en un ciclo de cruza y mutación. Al actualizar la población se reemplazan a las peores soluciones [46].

Los AG son por lo regular efectivos para encontrar más de una solución cercana al óptimo o en ocasiones incluso el óptimo. Se caracterizan por las siguientes operaciones básicas [46]:

- Selección. Se seleccionan los padres para empezar a evolucionar la población inicial. Una de las funciones de selección de padres más utilizada es la selección proporcional a la función objetivo, en la cual cada individuo tiene una probabilidad de ser seleccionado como padre que es proporcional al valor de su función objetivo.
- Cruza. Los dos individuos (soluciones) seleccionados para jugar el papel de padres, son recombinados por medio de la selección de uno o más puntos de corte, para posteriormente intercambiar las secciones seleccionadas de dicho punto.
- Mutación. En la mutación se realiza un cambio a la solución generada durante la cruza. Se considera un operador básico, que proporciona un pequeño elemento de aleatoriedad en la vecindad (entorno) de los individuos de la población. Si bien se

admite que el operador de cruza es el responsable de efectuar la búsqueda a lo largo del espacio de posibles soluciones, también parece desprenderse de los experimentos efectuados por varios investigadores que el operador de mutación va ganando en importancia a medida que la población de individuos converge [50].

Para poder aplicar el algoritmo genético se requiere de los 5 componentes básicos siguientes:

- Representación de la solución o las soluciones del problema a resolver.
- Crear una población inicial de posibles soluciones, las cuales generalmente se crean en un proceso aleatorio.
- La función de evaluación, objetivo o de aptitud, que permita evaluar las soluciones en términos de su “aptitud”.
- Operadores genéticos que modifiquen la información de los hijos que se producirán para las siguientes generaciones, cruzamiento y mutación se emplean generalmente.
- Valores para los diferentes parámetros que utiliza el algoritmo genético (tamaño de la población, probabilidad de cruza, probabilidad de mutación, número máximo de generaciones, etc.)

Algunas aplicaciones de los Algoritmos Genéticos son las siguientes [39]:

- Optimización
- Aprendizaje de máquina
- Bases de datos
- Reconocimiento de patrones.
- Generación de gramáticas
- Movimientos robóticos
- Predicción

Generar la población inicial
Calcular la función de aptitud para cada individuo de la población
Repetir
 Aplicar un operador de selección a los individuos de la población
 Aplicar el operador genético de recombinación a los individuos de la población
 Aplicar el operador genético de mutación a los individuos de la población
Hasta que se cumpla una condición de terminación.

Figura 2 Pseudo código del Algoritmo Genético básico

En este algoritmo, para la creación de la población inicial para la cual se asigna un peso aleatorio (peso) con valores aleatorios entre 0 y 1. Debido a que se debe cumplir la restricción de que la suma en el peso de los activos debe ser igual a 1, es necesario realizar un proceso de normalización a los pesos.

Este proceso de normalización también se aplica al cruzamiento y la mutación.

5 Metodología Propuesta

En este trabajo se propone una metodología llamada GenPo-Sharpe (*Genetic Portfolio Algorithm Based on Sharpe Ratio*) para seleccionar activos para un portafolio de inversión que tenga buen rendimiento y bajo riesgo. Para lo cual se utiliza la correlación existente entre activos de un periodo de tiempo determinado, para asegurar el objetivo mencionado, se emplea como métrica el Sharpe Ratio (SR) el cual ayuda a establecer una relación óptima entre las ganancias y el riesgo.

5.1 Modelo de Optimización

El uso de la correlación para estimar el riesgo de los activos es planteado por Elton y Gruber [51] como opción al modelo de Sharpe, por otra parte, Aneja, Chandra y Gunay en 1989 [14] proponen un método simple para calcular la correlación promedio de un gran número de activos. Dopfel en 2003 [37] lo emplea para analizar la correlación entre activos y bonos. En este mismo sentido Rogel en 2013 [15] emplea una estrategia para evaluar carteras y riesgos de diferentes portafolios empleando métricas adicionales de riesgo.

Derivado del MM y considerando la gran cantidad de activos el riesgo se calcula como:

$$\sigma_{pf} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 x_i^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n \sigma_i \sigma_j x_i x_j \rho_{ij}} \quad (6)$$

Por lo que el modelo de Sharpe se ajustó para ser usado en el modelo GenPo-Sharpe quedando como sigue:

$$\max SR = \frac{E(R_{pf}) - R_f}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 x_i^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n \sigma_i \sigma_j x_i x_j \rho_{ij}}}$$

Sujeto a

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n E(R_{pf}) > R_f$$

$$0 < x_i \leq 1$$

Este es un problema de programación no lineal, por lo que su solución no es sencilla de encontrar.

La manera de validar que la integración del portafolio cumple con una mínima correlación entre los activos, es midiendo la correlación promedio obtenida con la ecuación (8).

$$|\bar{\rho}_{pf}| = \frac{\sigma_{pf}^2 - \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 x_i^2}{2 \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n \sigma_i \sigma_j x_i x_j} \quad (8)$$

La interpretación de la ecuación (8) es similar a la correlación. Si $|\bar{\rho}_{pf}| \cong 1$ el portafolio tiene poca diversificación, por otro lado, cuando $|\bar{\rho}_{pf}| \cong 0$ el portafolio tiene el beneficio de la diversificación.

La solución que encontraremos con esta herramienta será el valor ponderado de los activos x_i , el valor esperado del portafolio $R(p_f)$, el riesgo (σ_{pf}), el SR y la correlación promedio $|\bar{\rho}_{pf}|$. La expectativa del proceso de experimentación es encontrar un equilibrio de entre la mejoría del rendimiento del portafolio y la administración del riesgo del portafolio.

5.2 Algoritmo GenPo-Sharpe

A partir del algoritmo genético básico, se plantea el modelo que satisface el objetivo de este trabajo mostrado en la tabla siguiente.

```
INICIO /* Algoritmo Genético */
    Set primera generación i=0
    Generar una población inicial de portafolios P(i)
    Computar la función de evaluación Sharpe inicial para cada individuo FSR(i)
    MIENTRAS (Converge = Falso or i<MaxGen DO
        INICIA /* Producir nueva generación */
            INICIA/*Ciclo Reproductivo */
                Seleccionar dos individuos (portafolios),  $X_1$  y  $X_2$  de P(i),
                selección aleatoria del punto de cruce.
                Cruzar  $X_1$  y  $X_2$  obteniendo dos descendientes  $X_{h1}$  ,  $X_{h2}$ .
                Insertar  $X_{h1}$  y  $X_{h2}$  en P(i)
                Computar la función FSR(i),  $X_{h1}$  y  $X_{h2}$ 
                Mutar aleatoriamente Tau elements de P(i); insertarlos en Ttau
                Computar la función FSR(i) de Ttau,  $X_{h1}$  y  $X_{h2}$ .
                Ordenar individuos mejor evaluados en P(i).
                Acotar la población al tamaño original de la misma.
            FIN
            Guardar al mejor individuo de la generación.
            SI FSR(i+1) < FSR(i) + tolerancia ENTONCES /* si Sharpe Ratio no crece suficiente */
                gamma=gamma+1                /* Contador gamma crece */
            SI gamma >= conv ENTONCES /*conv=num de generacion sin mejora en SR */
                Convergencia=VERDADERO
            FIN
        FIN MIENTRAS
        i=i+1
        SI i>MaxGen ENTONCES
            Converge: = VERDADERO
        FIN
    Mostrar mejor individuo
```

Mostrar gráficas

FIN

Figura 3 Pseudo código del Algoritmo GenPo-Sharpe

En este algoritmo, para la creación de la población inicial para los cuales se le asigna un peso (ponderación) aleatoria con valores entre 0 y 1. Debido a que se debe cumplir la restricción de que la sumatoria en la ponderación de los activos debe ser igual a 1, es necesario realizar un proceso de normalización a los pesos. Este proceso de normalización se aplica además en el cruzamiento y en la mutación.

Tabla 1 Ejemplo de codificación de los activos en el AG

# Candidatos	Aletorio	Normalizado
Act 1	0.45587268	0.100716657
Act 2	0.43363875	0.09580448
Act 3	0.41509324	0.091707192
Act 4	0.97276825	0.214915194
Act 5	0.39644229	0.087586609
Act 6	0.69811193	0.154234948
Act 7	0.51978151	0.114836133
Act 8	0.63458021	0.140198787
Suma	4.52628886	1.00

Una vez generada la población inicial, se procede al cálculo de la función fitness expresada en la ecuación (8) para cada individuo de la población. Posterior al cálculo, se inicia el ciclo de las generaciones dentro del algoritmo evolutivo teniendo una selección aleatoria de dos padres, de los cuales se selecciona aleatoriamente el punto de cruce, generando dos nuevos individuos los cuales son insertados en la población inicial, y además son sometidos al proceso de normalización y evaluación. Seguido inicia un proceso de mutación seleccionando aleatoriamente un porcentaje de la población, estos individuos sufren una

mutación aleatoria en la ponderación de alguno de sus genes (activos), teniendo la necesidad de aplicar nuevamente el proceso e normalizado y evaluación.

Con base a la evaluación, los individuos son ordenados del mejor al peor y los individuos menos calificados son eliminados de la población, quedando la misma en su tamaño original.

El proceso evolutivo continúa teniendo dos criterios de paro:

- a) Fijando un valor máximo de repeticiones (número de generaciones).
- b) Cuando en el resultado de la evaluación (SR), el mejor individuo de la población no mejora una determinada cantidad de generaciones.

El resultado del algoritmo es un portafolio (individuo) con los mejores activos (genes). Esta combinación de activos tiene la mejor relación de ganancia-riesgo, así como menor correlación originando una mejor diversificación de portafolio.

6 Experimentación

6.1 Descripción de los datos y diseño del experimento

En este estudio se emplean activos que cotizan en la BMV, sin distinción de sectores, con la única restricción de ser activos financieros participantes en la BMV (49 activos) y FIBRAs o REITS (12 activos). Para establecer la confiabilidad del algoritmo, se elaboran una matriz de experimentos descritos como sigue:

Tabla 2 Diseño del experimento.

La tabla concentra los valores a contrastar entre los diferentes conjuntos de activos, métodos de integración de portafolio y periodos de tiempo a evaluar.

	18 act				49 act				61 act				FIB act			
	MM	AG	QP	AG-QP	MM	AG	QP	AG-QP	MM	AG	QP	AG-QP	MM	AG	QP	AG-QP
P1																
P2																
P3																
P4																
P5																

Se contemplan 4 conjuntos de activos, cada conjunto forma un portafolio analizado con diferentes métodos.

MM – Modelo de Markowitz (1)

GenPo-Sharpe – Algoritmo propuesto

QP - Algoritmo de programación cuadrática con la función objetivo-propuesta con la ecuación (8)

GenPo-Sharpe -QP – Aplicación conjunta del GenPo-Sharpe como selector de activos y QP como optimización de portafolio.

Además, se evaluaron cinco diferentes periodos de pruebas, en función del comportamiento histórico del IPC, a continuación, se describen:

P1 – Del 01-01-2017 al 30-05-2018, corresponde a un periodo de ganancias y un periodo de pérdidas.

P2 – Del 01-01-2017 al 30-08-2017, corresponde a un periodo de ganancias.

P3 – Del 30-08-2017 al 30-05-2018, corresponde a un periodo de pérdidas.

P4 – Del 01-01-2019 al 30-05-2020, corresponde a un periodo de alternancia o caótico.

P5 – Del 01-01-2017 al 30-05-2020, corresponde a los periodos mencionados en conjunto.

Los parámetros por medir en el algoritmo son el SR (8), el cual es el modelo matemático que se emplea como función objetivo (*fitness*) y se busca su maximización encontrando los activos que en conjunto entreguen un rendimiento superior a la tasa libre de riesgo y a su vez mantenga una baja volatilidad y correlación.

La tasa de referencia o tasa libre de riesgo se considera como el mínimo de ganancia que el portafolio debe obtener. Esta tasa tiene como valor los CETES promedio en el periodo a evaluar.

Finalmente, la correlación promedio calculada con la ecuación (9) es importante para medir la interacción existente entre los elementos del portafolio y que, como se mencionó en el capítulo anterior, se espera que, en los portafolios resultantes, la correlación promedio se encuentre cercano a cero, pues el portafolio tendría la máxima diversificación, minimizando así el riesgo.

6.2 Resultados de los experimentos

Se descarta la comparación de carteras igualmente ponderadas dado que ya existen estudios analizados en este contexto [8], por lo que ahora se comparan las carteras creadas bajo las premisas antes mencionadas. De la Tabla 3, 4 y 5 se puede observar que el MM está por debajo de los modelos propuestos, ya que muestra un pobre desempeño en la reducción de volatilidad, maximizando SR y la diversificación.

Tabla 3 Resultados de la volatilidad.

	18 stocks				49 stocks				49 stocks + 12 REITs				12 REITs			
	MM	GenPo	QP	GenPo QP	MM	GenPo	QP	GenPo QP	MM	GenPo	QP	GenPo QP	MM	GenPo	QP	GenPo QP
P1	0.0097	0.0068	0.023	0.0068	0.0087	0.0081	0.0075	0.0066	0.0082	0.006	0.0058	0.0064	0.0109	0.0075	0.0122	0.0076
P2	0.0065	0.0034	0.00	0.0033	0.0022	0.0001	0.0157	0.0001	0.0016	0.0001	0.00	0.0001	0.009	0.0075	0.0054	0.0054
P3	0.0175	0.015	0.0143	0.0175	0.0105	0.0123	0.0121	0.0121	0.0105	0.0076	0.0082	0.0085	0.0172	0.0089	0.0101	0.0101
P4	0.0227	0.0217	0.023	0.023	0.0136	0.0166	0.0157	0.0159	0.0128	0.0135	0.0138	0.014	0.0232	0.0183	0.0192	0.0192
P5	0.0189	0.019	0.0216	0.0199	0.0131	0.0145	0.0137	0.0136	0.0127	0.0159	0.0156	0.0163	0.0222	0.015	0.0151	0.0113

6.2.1 Riesgo o volatilidad

Del experimento se puede observar que el 35% (7/20) del riesgo o volatilidad es menor en el cálculo obtenido con el algoritmo GenPo-Sharpe, ubicando la mayoría de los resultados en los REIT y aparecen dos veces en P1, P3 y P4.

El método QP obtiene el 25% (5/20) de los mejores resultados, colocando la mayoría de los resultados en P2.

La combinación de los métodos QP y GenPo-Sharpe obtuvo solo el 10% (2/20), apareciendo en P1 con 49 activos y en P5 analizando los REIT. Finalmente, la aplicación MM obtiene el 30% (6/20), colocando la mayor parte de los resultados en la instancia con 49 activos y en P5.

6.2.2 Sharpe Ratio

De la matriz de experimentos, los valores se muestran en la tabla 4, donde el algoritmo GenPo-Sharpe obtiene 3 resultados sobresalientes, siendo estos en la instancia de REITs. El método QP obtiene 40% (8/20) de los valores más altos, donde la mayoría de estos se ubican en las instancias de 18 y 49 activos, así como en P4. La combinación de QP y GenPo- Los métodos de Sharpe obtuvieron el 40% (8/20) de los resultados, teniendo un par de resultados en los activos y REIT combinados. Finalmente, MM solo obtiene resultado en la instancia de 49 activos y 12 REIT en el P2.

Cabe destacar los atípicos resultados mostrados en las instancias de 49 y 61 activos (y REITs), en ambos casos en P2, un período de alza en el IPC (Índice Mexicano).

Aunque las pruebas se repitieron, dieron resultados desproporcionados según el resto de las pruebas.

Tabla 4 Resultados del SR.

	18 stocks				49 stocks				49 stocks + 12 REITs				12 REITs			
	MM	GenPo	QP	GenPo QP	MM	GenPo	QP	GenPo QP	MM	GenPo	QP	GenPo QP	MM	GenPo	QP	GenPo QP
P1	1.9162	12.85	13.242	13.24	3.9897	41.684	97.114	127.8	3.737	96.396	119.43	130.06	0.6472	37.223	11.098	32.882
P2	3.5696	94.917	97.314	97.312	10.78	2837.6*	79.0	2852.4*	12.276	5415.2*	670.5	3822.1*	1.83	37.223	34.99	34.988
P3	0.4315	9.7976	6.189	10.487	1.2593	48.343	50.088	50.038	1.2593	92.155	97.863	99.023	-0.406	81.113	84.177	84.177
P4	0.3589	66.744	68.206	68.206	1.6191	74.903	78.96	77.393	1.7282	89.23	83.688	81.29	0.8345	16.864	17.649	17.649
P5	0.0238	103.86	91.026	104.79	0.7217	161.04	164	167.77	0.8613	96.949	99.246	107.86	0.0386	11.875	12.275	20.569

6.2.3 Correlación

Como eq. (8), se mide la correlación promedio de la cartera para verificar la baja correlación de los activos involucrados en la cartera.

De la Tabla 4, GenPo-Sharpe puntúa el 30% de las correlaciones más bajas, teniendo 3 de sus resultados en la instancia de 18 activos. El modelo QP obtiene el 25%, teniendo 4 resultados en las instancias de REIT.

El GenPo-Sharpe y QP combinados alcanzan el 20%. El MM alcanza el 25% de los resultados, predominando en la instancia de 49 activos y el P2.

Tabla 5 Resultados de la correlación promedio.

	18 stocks				49 stocks				49 stocks + 12 REITs				12 REITs			
	MM	GenPo	QP	GenPo QP	MM	GenPo	QP	GenPo QP	MM	GenPo	QP	GenPo QP	MM	GenPo	QP	GenPo QP
P1	0.0304	0.0062	0.023	0.010	0.0581	0.0564	0.0508	0.002	0.0697	0.0301	0.027	0.029	0.1347	0.0097	0.0165	0.0006
P2	0.0031	0.029	0.045	0.045	0.018	0.044	0.071	0.074	0.027	0.044	0.05	0.069	0.1337	0.0097	0.025	0.025
P3	0.1115	0.1415	0.1507	0.171	0.0364	0.0794	0.0618	0.0989	0.0364	0.0131	0.0058	0.0027	0.00	0.023	0.163	0.163
P4	0.3378	0.0532	0.0106	0.0105	0.0613	0.002	0.071	0.071	0.0648	0.0118	0.058	0.059	0.4624	0.0989	0.0342	0.0342
P5	0.2648	0.017	0.0124	0.023	0.0961	0.0169	0.000	0.0031	0.0688	0.039	0.0313	0.091	0.4472	0.0746	0.0254	0.1313

El algoritmo GenPo-Sharpe muestra en sus métricas, resultados superiores al MM tal como se muestra en la gráfica 1, la correlación de los componentes del portafolio integrado por el GenPo-Sharpe es menor que el calculado en con el MM.

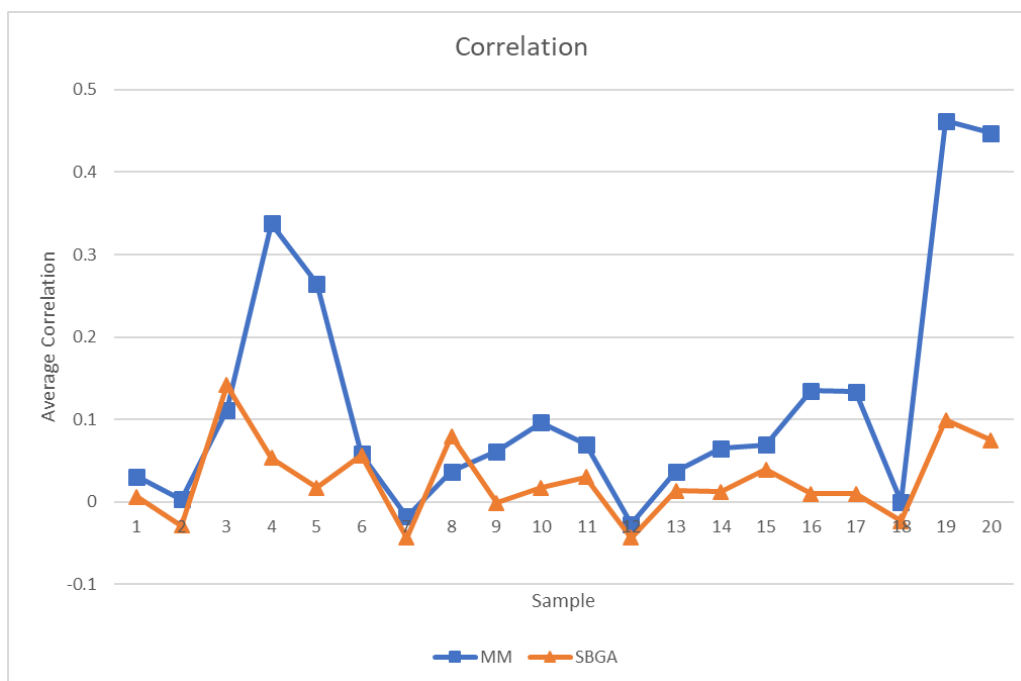


Figura 4 Correlaciones del MM y del GENPO-SHARPE.

6.3 Prueba estadística

Para comprobar los resultados de mejora del MM al GenPo-Sharpe se plantea elaborar una prueba de Wilcoxon. Es una prueba no paramétrica y se emplea cuando las muestras no son independientes y es equivalente a la prueba *t de student* para muestras emparejadas. La idea básica consiste en determinar la frecuencia con la cual el valor de un miembro del par es superior al valor del otro miembro del par. Los datos obtenidos, no siguen una distribución normal, son cuantitativos y se buscar comparar un “antes y un después”.

Para corroborar las diferencias existentes entre métodos, se elabora una prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras dependientes [39]. Las hipótesis son: H_0 : La mediana de los resultados de los métodos son iguales, y H_a : La mediana de los resultados de los métodos son diferentes [52].

Al tener un total de 20 muestras para cada método se establecen las condiciones de contraste en la prueba como $n=20$, como tamaño de muestra, $\alpha=0.05$ como la probabilidad no aceptación de la H_0 , dando como estadístico $T=60$, por lo que 60 es el valor mínimo para determinar si se rechaza la hipótesis nula. Se muestra como ejemplo del análisis la tabla número 6. La superioridad del GenPo-Sharpe sobre MM se manifiesta al rechazar la hipótesis nula en el contraste en las métricas SR, riesgo y correlación como se muestra el ejemplo de la tabla 7.

Tabla 6 Resumen de la prueba de Wilcoxon.

El valor mínimo de la prueba queda fuera del estadígrafo $T=60$, por lo que no se acepta H_0 en los 3 casos.

Contraste MM-GenPo-Sharpe	Riesgo	Sharpe	Correlación
Positivo	149	0	191
Negativo	41	210	19

Tabla 7 Desempeño de métodos.

(Δ representa un mejor desempeño)

	MM	GenPo- Sharpe
Volatilidad		Δ
SR		Δ
Correlación		Δ

Así mismo, se contrasta para los métodos GenPo-Sharpe y la combinación del método GenPo-Sharpe que funciona como algoritmo de selección y QP que se emplea como optimizador. Los resultados se muestran a continuación en la tabla 8.

Tabla 8 Resumen de la prueba de Wilcoxon.

El valor mínimo de la prueba es igual o superior al estadígrafo $T=60$ para el riesgo y para la correlación, por lo que no existe evidencia significativa para no aceptar H_0 .

Contraste	Riesgo	Sharpe	Correlación
GenPo-Sharpe - GenPo-Sharpe y QP			
Positivo	67	17	91
Negativo	40	119	62

Los resultados muestran que para la métrica de SR existe diferencia en los resultados obtenidos, por otro lado, estadísticamente no se encuentran diferencias en las métricas de riesgo y correlación. La importancia entre las métricas queda a criterio del inversionista según su perfil.

7 Conclusiones y trabajos futuros

7.1 Conclusiones

- 1) Como se mostró en los experimentos, la diversificación de las inversiones ayuda a disminuir el riesgo del portafolio y este trabajo ha mostrado una metodología capaz de obtener buenos resultados.
- 2) El GenPo-Sharpe y la ecuación *fitness* basada en el SR además de la correlación de activos permite evaluar una enorme cantidad de candidatos para formar una gran cantidad de portafolios ordenados por la relación de Sharpe.
- 3) Es sabido que el modelo de Markowitz tiene el siguiente problema, es muy sensible a los errores en la estimación de rendimientos y riesgos esperados. Con el modelo propuesto se logra solventar este problema.
- 4) El uso de algoritmos genéticos nos permite obtener un conjunto de portafolios ordenados de acuerdo con el SR para que el inversor seleccione el portafolio que mejor le convenga.

7.2 Trabajo futuro

- 1) Aplicar este modelo heurístico para otras instancias fuera del mercado de valores de México, así como probar por otros activos financieros como lo son los metales, los derivados, etc.

- 2) Agregar al algoritmo heurístico otros elementos a considerar como otras características financieras e índices de medición para optimizar el desempeño del portafolio y potenciar el poder que el algoritmo ha demostrado
- 3) El enfoque de este trabajo es interesante y los resultados dan pie a su divulgación para solucionar el planteamiento del MM, ya que permite resolver los problemas financiero en el ámbito real.

Referencias

- [1] H. Markowitz, "Portfolio Selection," *J. Finance*, vol. 7, no. 1, pp. 77–91, 1952.
- [2] M. J. Best and R. R. Grauer, "On the Sensitivity of Mean-Variance-Efficient Portfolios to Changes in Asset Means: Some Analytical and Computational Results," no. February, 1991.
- [3] R. Green and B. Hollifield, "When Will Mean-Variance Efficient Portfolios Be Well Diversified?," *J. Finance*, vol. XLVII, no. 5, p. 25, 1992.
- [4] C. V. Guadarrama, "Los costos de transacción y el crecimiento de la economía," *El Financiero*, Ciudad de México, 25-Sep-2014.
- [5] J. C. T. Mao, "Models of Capital Budgeting , E-V Vs E-S," *J. Financ. Quant. Anal.*, vol. 4, no. 5, pp. 657–675, 1970.
- [6] B. Y. P. C. Fishburn, "Mean-Risk Analysis with Risk Associated with Below-Target Returns," *Am. Econ. Rev.*, vol. 67, no. 2, pp. 116–126, 1977.
- [7] Y. Fang, K. K. Lai, and S. Wang, *Fuzzy Portfolio Optimization Theory and Methods*. Berlin: Springer-Verlag, 2008.
- [8] L. Yu, S. Wang, and K. K. Lai, "Multi-Attribute Portfolio Selection with Genetic Optimization Algorithms," *INFOR*, vol. 47, no. 1, pp. 23–30, 2009.
- [9] S. Slimane and M. Benbouziane, "Portfolio Selection Using Genetic Algorithm," *J. Appl. Financ. Bank.*, vol. 2, no. 4, pp. 143–154, 2012.
- [10] M. del P. Rodríguez García, K. A. Cortez Alejandro, A. B. Méndez Sáenz, and H. H. Garza Sánchez, "Análisis de portafolio por sectores mediante el uso de algoritmos genéticos: Caso aplicado a la Bolsa Mexicana de Valores," *Contaduría y Adm.*, vol. 60, no. 1, pp. 87–112, 2015.
- [11] S. Fernando and C. Enciso, "Creación de Portafolios de Inversión utilizando Algoritmos Evolutivos Multiobjetivo."
- [12] W. F. Sharpe, "A Simplified Model for Portfolio Analysis," *Manage. Sci.*, vol. 9, no. 2, pp. 277–293, 1963.
- [13] Y. Choueifaty and Y. Coignard, "Toward maximum diversification," *J. Portf. Manag.*, 2008.
- [14] Y. P. Aneja, R. Chandra, and E. Gunay, "A Portfolio Approach to Estimating the

- Average Correlation Coefficient for the Constant Correlation Model,” vol. XLIV, no. 5, pp. 1435–1438, 1989.
- [15] J. R. Salazar and R. Tella, “Suplemento / Supplement Portfolio Construction Based on Implied Correlation,” *EconoQuantum*, vol. 12, no. 1, pp. 125–144, 2014.
- [16] J. Frausto and R. Alvarez, *Tópicos Selectos de Economía*, no. III. España: ECORFAN, 2015.
- [17] G. BMV, “Bolsa Mexicana de Valores,” *Acerca de*, 2015. [Online]. Available: <https://www.bmv.com.mx/es/grupo-bmv/acerca-de>.
- [18] C. de Diputados, “Leyes Federales vigentes,” *Camara de Diputados*, 2020. [Online]. Available: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm>. [Accessed: 06-Jun-2020].
- [19] Rankia, “Mercado organizado vs mercado fuera de bolsa (OTC),” *Rankia: Como comenzar a invertir en bolsa*, 2016. [Online]. Available: <https://www.rankia.mx/blog/como-comenzar-invertir-bolsa/3298784-mercado-organizado-vs-fuera-bolsa-otc>.
- [20] Francisco Javier Marco Sanjuán, “Mercado eficiente,” *Economipedia*. [Online]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/mercado-eficiente.html>. [Accessed: 04-Apr-2020].
- [21] R. V. Burguillo, “Mercado primario y secundario,” *Valueschool.es*. [Online]. Available: <https://valueschool.es/mercado-primario-secundario-diferencia#:~:text=La diferencia principal entre un,activos financieros ya emitidos previamente>.
- [22] C. de diputados del H. C. de la Unión, *Ley del mercado de valores*. 2019, p. 219.
- [23] G. F. Monex, “Mercado de deuda,” 2018. [Online]. Available: <https://blog.monex.com.mx/infografia-mercado-deuda>. [Accessed: 15-Apr-2020].
- [24] A. Peiro Ucha, “Mercado de capitales,” *Economipedia*. [Online]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/mercado-de-capitales.html>. [Accessed: 04-Apr-2020].
- [25] G. Mexicana, “Cómo operar en el mercado de metales preciosos,” *Gaceta Mexicana*, 2018. [Online]. Available: <https://www.gacetamexicana.com/como-operar-en-el-mercado-de-metales-preciosos/>. [Accessed: 05-May-2020].

- [26] MEXDER, “Mercado Mexicano de Derivados, S.A. de C.V.,” 2020. [Online]. Available: http://www.mexder.com.mx/wb3/wb/MEX/bolsa_derivados.
- [27] J. Vergara, “REITs,” *Vergara Investor Academy*, 2015. [Online]. Available: <https://www.vergarainvestor.com/post/qué-son-los-reits-y-por-qué-invertir-en-ellos#:~:text=Por sus siglas en ingles,bienes inmuebles que generan ingresos>. [Accessed: 03-Mar-2020].
- [28] M. Rubio, “Inversiones a fondo: FIBRAs, ¿qué son y quiénes pueden invertir?,” *BBVA*, 2018. [Online]. Available: <https://www.bbva.com/es/inversiones-a-fondo-fibras-que-son-y-quienes-pueden-invertir/>. [Accessed: 10-Mar-2020].
- [29] M. Moreno, “Swaps,” *El Financiero*, 2020. [Online]. Available: <https://www.elfinanciero.com.mx/monterrey/miguel-moreno-tripp-swaps>.
- [30] G. financiero Monex, “¿Qué son los swap y cómo funcionan?,” *Monex*, 2020. [Online]. Available: <https://blog.monex.com.mx/que-es-un-swap>. [Accessed: 23-Sep-2020].
- [31] BBVA, “Riesgo financiero,” *BBVA*, 2020. [Online]. Available: <https://www.bbva.com/es/finanzas-para-todos-el-riesgo-financiero-y-sus-tipos/>. [Accessed: 29-Jul-2020].
- [32] A. Fernandez, “Riesgos de invertir en Bolsa,” *Rankia*, 2016. [Online]. Available: <https://www.rankia.com/blog/bolsa-desde-cero/2568729-riesgos-invertir-bolsa>. [Accessed: 26-Oct-2019].
- [33] E. Arenas, “Clasificación de los riesgos financieros,” *Rankia*, 2019. [Online]. Available: <https://www.rankia.mx/blog/como-comenzar-invertir-bolsa/4251172-clasificacion-riesgos-financieros>. [Accessed: 30-May-2019].
- [34] M. Borrel, *Estadística Financiera: Aplicación a la Formación y Gestión de Carteras de Renta Variable*. Centro de Estudios Ramon Areces, 1997.
- [35] J. G. Boza, *Inversiones financieras: selección de carteras, teoría y práctica*. Madrid: Pirámide, 2015.
- [36] R. M. Karp, “Reducibility among combinatorial problems,” Nueva York, 1972.
- [37] F. E. Dopfel, “Asset Allocation in a Lower Stock-Bond Correlation Environment,” *J. Portf. Manag.*, pp. 25–38, 2003.
- [38] D. C. Montgomery and G. C. Runger, *Applied Statistics and Probability for Engineers*.

NJ: John Wiley & Sons, 2011.

- [39] D. A. Lind, W. G. Marchal, and S. A. Wathen, *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. México: McGraw-Hill, 2018.
- [40] W. F. Sharpe, “The Sharpe Ratio,” *The Journal of Portfolio Management*, 1994. [Online]. Available: <http://web.stanford.edu/~wfs Sharpe/art/sr/SR.htm>. [Accessed: 24-Feb-2020].
- [41] S. de H. y C. Público, “Descripción técnica de los certificados de la tesorería de la federación,” 1999. [Online]. Available: <https://www.banxico.org.mx/mercados/d/%7B0DE0044F-662D-09D2-C8B3-4F1A8E43655F%7D.pdf>.
- [42] L. J. Fogel, A. J. Owens, and M. J. Walsh, *Artificial Intelligence Through Simulated Evolution*. Wiley, 1966.
- [43] D. B. Fogel, *Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence*, 3rd ed. Wiley-IEEE, 2005.
- [44] T. Back, *Evolutionary Algorithms in Theory and Practice*. Oxford University Press, 1996.
- [45] H.-P. Schwefel, “Numerical Optimization of Computer Models,” *J. Oper.*, vol. 33, no. 12, pp. 1166–1167, 1982.
- [46] J. H. Holland, “Adaptation in Natural and Artificial Systems,” *Univ. Michigan Press*, 1975.
- [47] A. Kadar, F. Faruque, S. Mohammad, and H. Iqdal, “Solving the Vehicle Routing Problem using Genetic Algorithm,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 2, no. 7, 2011.
- [48] M. Gen, J. Chou, and I. Kenichi, “Improved genetic algorithm for generalized transportation problem,” *Artif. Life Robot.*, pp. 96–102, 2000.
- [49] F. Werner, “Genetic algorithms for shop scheduling problems: a survey,” Magdeburg, Germany: Otto-von-Guericke-Universität, 2011, p. 66.
- [50] L. Davis, “Job Shop Scheduling with Genetic Algorithms,” in *Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms*, 1985, pp. 136–140.
- [51] E. J. Elton, M. J. Gruber, S. J. Brown, and W. N. Goetzmann, *Modern Portfolio Theory and Investment Analysis*. NY: John Wiley & Sons, Inc, 2010.
- [52] D. C. Montgomery and G. C. Runger, *Applied Statistics and Probability for Engineers*,

Third Edit. Danvers, MA: John Wiley & Sons, Inc, 2002.

Anexos

Anexo A

Gráficas de resultados del experimento

En este anexo se presentan las gráficas generadas en parte del experimento. Las figuras aquí mostradas corresponden a los resultados arrojados por la metodología aplicada, la función de evaluación y el algoritmo genético implementado.

En este caso se analiza el resultado obtenido por una instancia de 61 activos listados y evaluados en el periodo 1 (01-01-2017 al 30-05-2018), corresponde a un periodo de ganancias y un periodo de pérdidas.

Tabla 9 Listado de activos analizados en el P1

GFNORTEO.MX	GCARSOA1.MX	BOLSAA.MX	KIMBERA.MX	SORIANAB.MX
GAPB.MX	BBAJIOO.MX	GRUMAB.MX	OMAB.MX	VITROA.MX
ASURB.MX	ALPEKA.MX	GENTERA.MX	LIVEPOLC-1.MX	GFAMSAA.MX
ALSEA.MX	PINFRA.MX	TLEVISACPO.MX	AXTELCPO.MX	CYDSASAA.MX
AMXL.MX	CUERVO.MX	RA.MX	GFINBURO.MX	VALUEGFO.MX
BIMBOA.MX	LABB.MX	MEGACPO.MX	WMMVY	WALMEX.MX
GMEXICOB.MX	GCC.MX	IENOVA.MX	SITESB-1.MX	PASAB.MX
AC.MX	CEMEXCPO.MX	AUTLANB.MX	LAMOSA.MX	FEMSAUBD.MX
BACHOCOB.MX	WMMVF	LALAB.MX	HERDEZ.MX	FINDEP.MX
DANHOS13.MX	FIBRAMQ12.MX	TMMA.MX	VOLARA.MX	FNOVA17.MX
FIBRAPL14.MX	FINN13.MX	FPLUS16.MX	FUNO11.MX	BSMXB.MX
FIHO12.MX	FMTY14.MX	FSHOP13.MX	TERRA13.MX	FIBRAHD15.MX
		MFRISCOA-1.MX		

La tabla 9 muestra el listado de activos analizados para el periodo 1 los cuales consisten en activos del mercado de capitales y fibras que cotizan en la Bolsa Mexicana de valores. Cabe

destacar que, aunque se seleccionaron éstos, no todos los activos contienen información que en el período de tiempo evaluado por lo que en el proceso de análisis se descartaron aquellos con información insuficiente o inexistente. Por otro lado, y cómo se mencionó anteriormente en el capítulo 5, los activos no están preseleccionados ni por tipo de Industria ni tamaño de empresa puesto que se espera que el algoritmo con sus funciones permite seleccionar aquellos más atractivos según su Sharpe Ratio y la correlación entre esos activos.

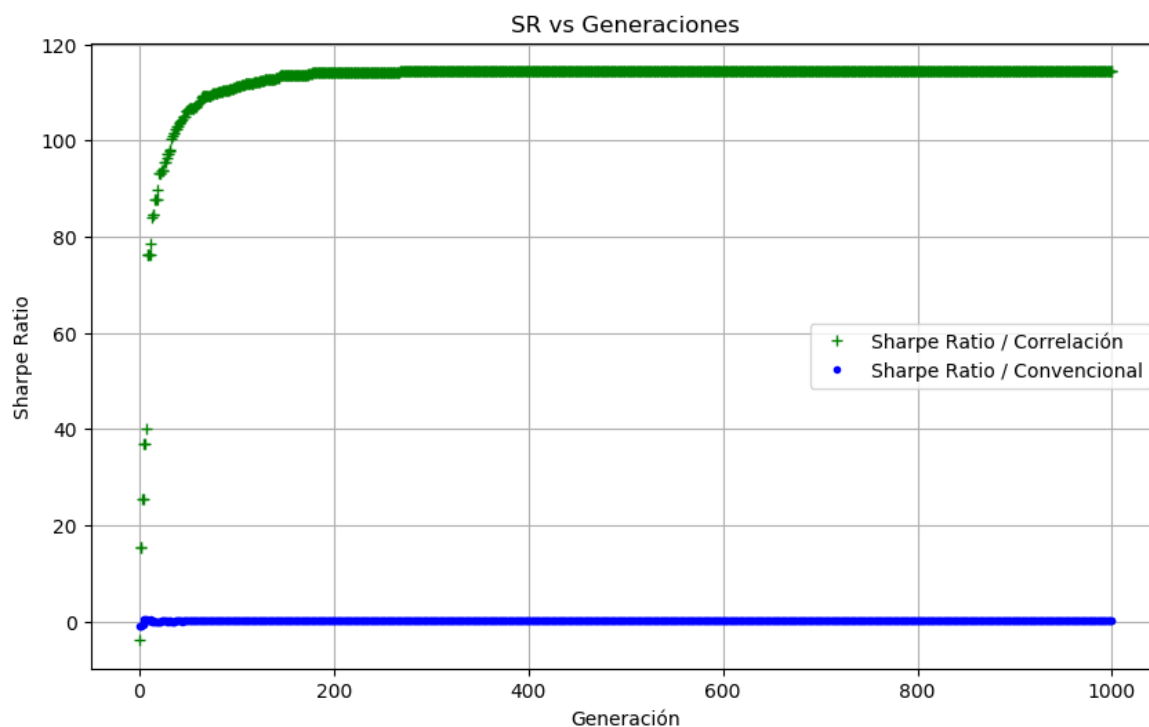


Figura 5 Desempeño del Sharpe Ratio a lo largo de las generaciones.

La figura 5 muestra la evolución del SR, tanto con el método planteado por este trabajo, como de manera tradicional a lo largo de las generaciones (portafolios), en este caso se observa cerca de generación 200 que el valor del SR ajustado con la correlación intenta alcanzar un valor máximo, sin embargo, por la propia naturaleza del algoritmo éste buscará maximizar el valor SR.

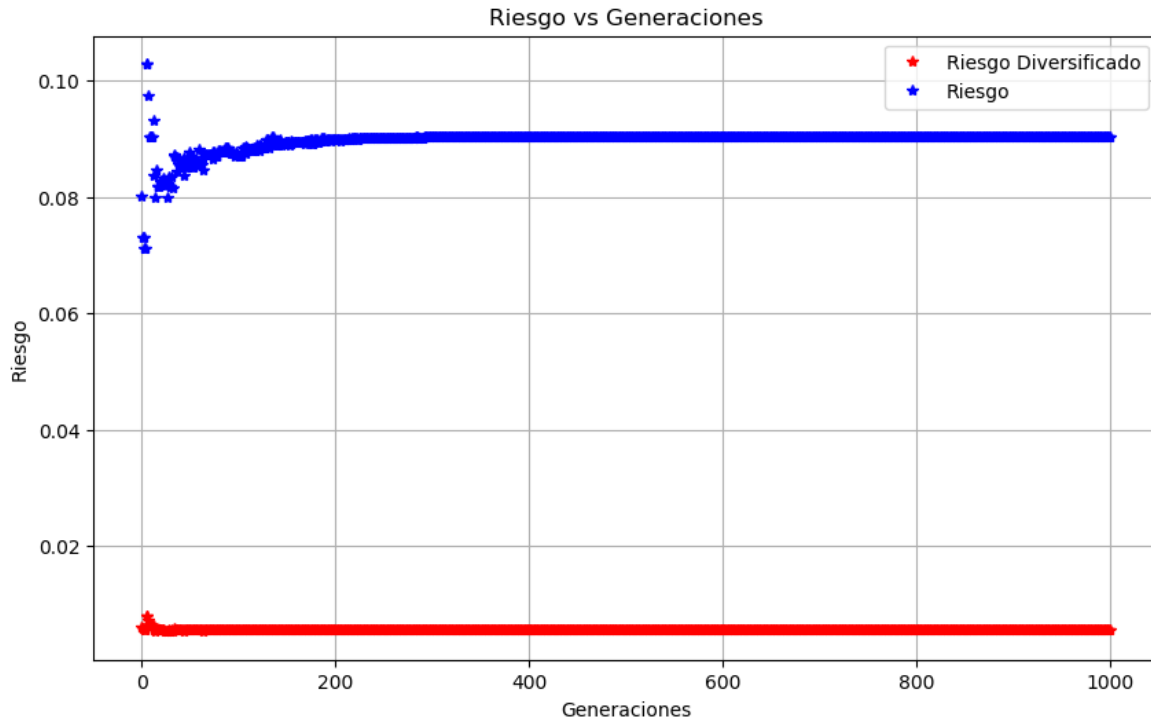


Figura 6 Desempeño del riesgo a lo largo de las generaciones.

El riesgo es un aspecto que se debe minimizar y según el perfil del inversionista será mayor o menor tolerante a él. En la figura 6 observamos el comportamiento del riesgo, medido de manera convencional, busca estabilizarse pasadas 200 generaciones. De igual manera el “riesgo diversificado”, que es el propuesto en este trabajo se observa menor riesgo, ya que como lo marca la ecuación fitness, se busca diversificar.

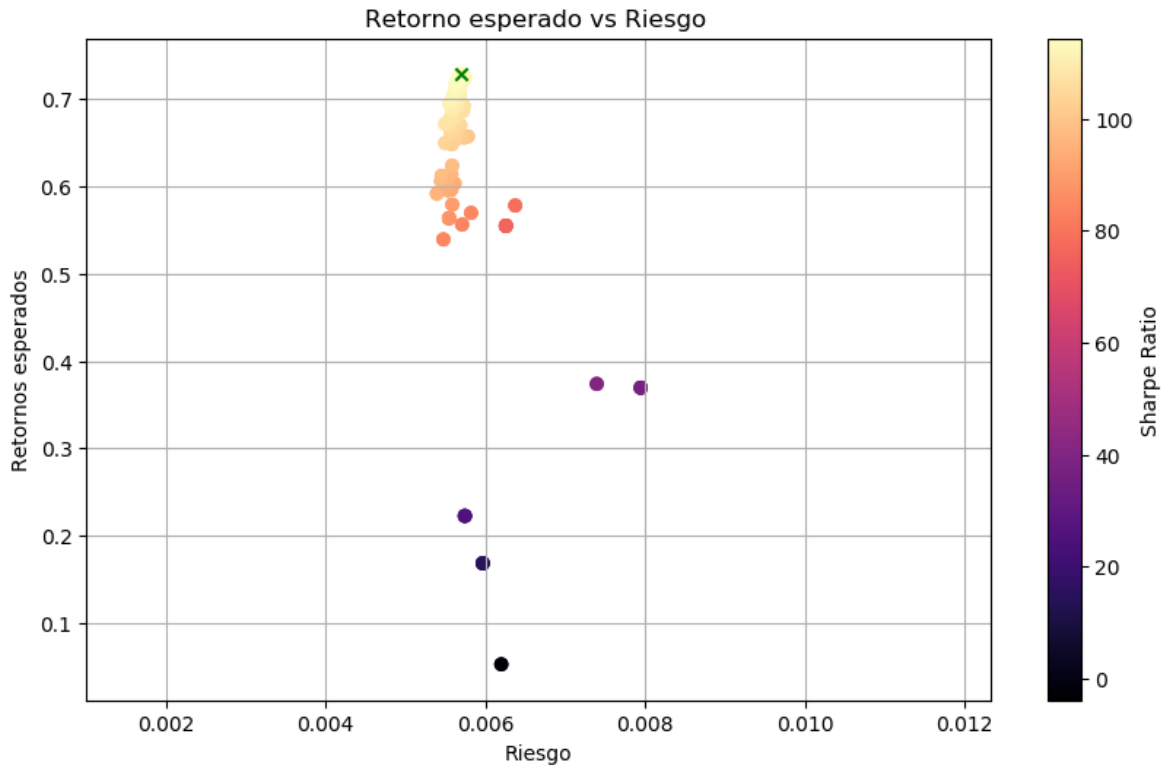


Figura 7 Retornos vs. Riesgo

Como se emplea comúnmente, la gráfica de riesgo contra retornos o valor esperado nos permite observar el desempeño de los portafolios. En este caso, la figura 7 representen desempeño de los portafolios obtenidos con el algoritmo genético según su rendimiento y riesgo de cada uno de los portafolios sobresalientes de cada generación, formando con esto lo que se conoce como la frontera eficiente que ya Markowitz describía desde 1952. Además de eso aquí se muestra un índice en el Sharpe Ratio, el cual es la medida que se emplea para determinar si un portafolio es óptimo o no. Es de esperarse que tal obtener un retorno esperado más alto y un riesgo más bajo el Sharpe Ratio sea mucho más alto.

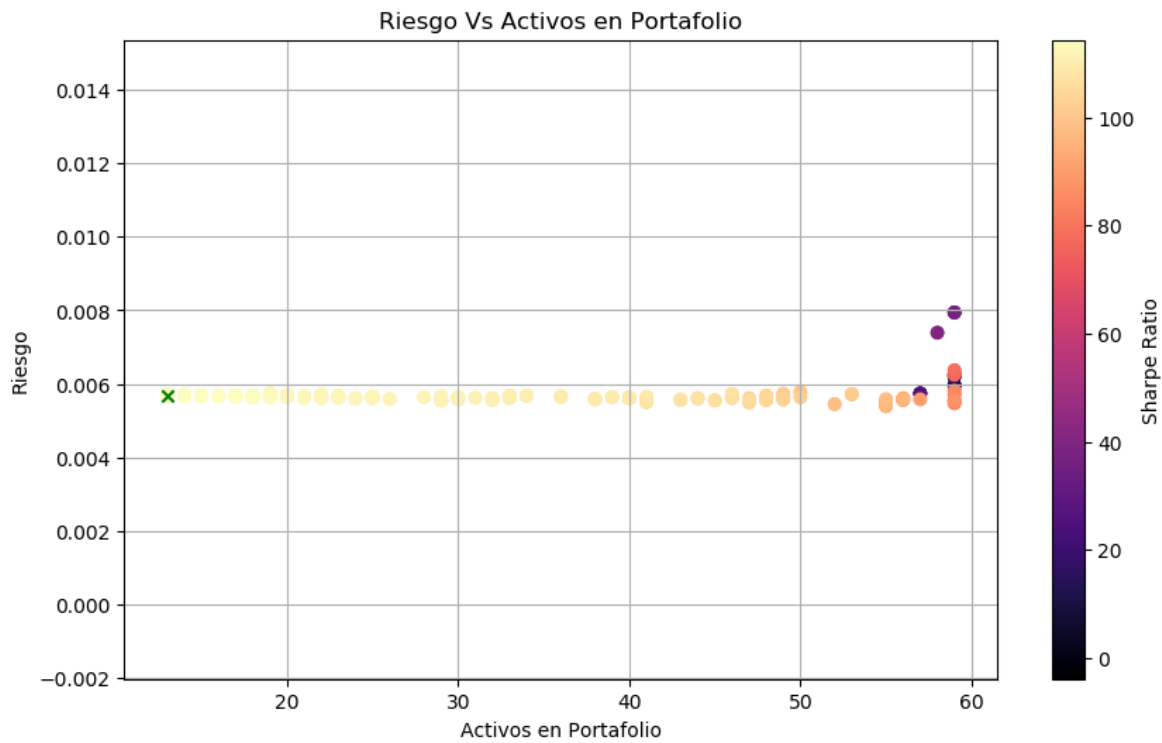


Figura 8 Riesgo vs. Número de activos en el portafolio

El algoritmo no solo calcula el rendimiento y el riesgo, sino que va reduciendo el número de activos según las necesidades del inversionista pues como vimos para este caso se inició con 61 activos y naturalmente el algoritmo mira reduciendo le cantidad de activos en el portafolio es decir asignando una ponderación de cero a varios de estos activos. En a figura 8 se muestran cómo el algoritmo va reduciendo la cantidad de activos en el portafolio y va desde 61 hasta poco más de 10 activos en portafolio, indicando además su Sharpe Ratio, el algoritmo busca reducir los activos manteniendo el más alto Sharpe Ratio posible.

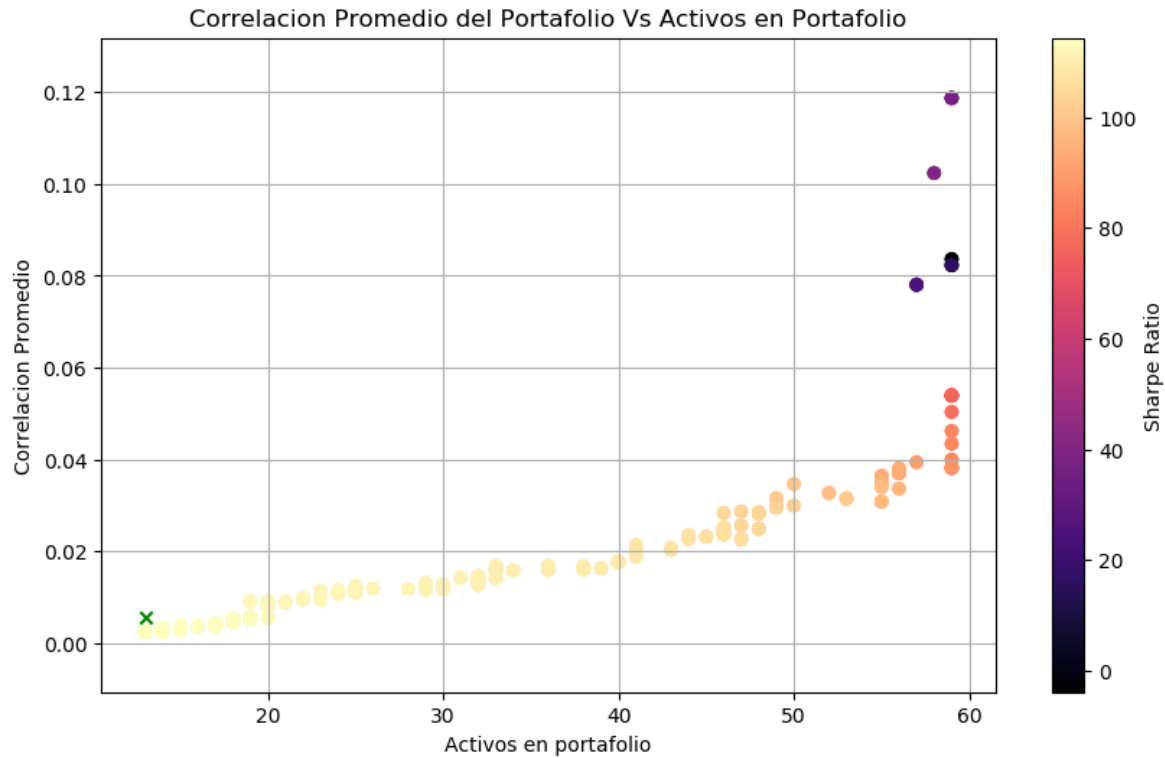


Figura 9 Correlación promedio y el número de activos en portafolio.

La correlación es parte importante sí el proceso que plantea este trabajo puesto que cómo lo marca la teoría una menor correlación contribuirá a la minimización del riesgo consecuentemente teniendo un Sharpe Ratio más alto. En la figura 9 sí puede apreciar como el algoritmo reduce la correlación entre los activos integran el portafolio mientras que éstos se van el reduciendo en el portafolio, esto da una idea de que el algoritmo reduce la cantidad de activos candidatos y en su evaluación retiene y pondera aquellos entregan un mejor desempeño y una baja correlación.

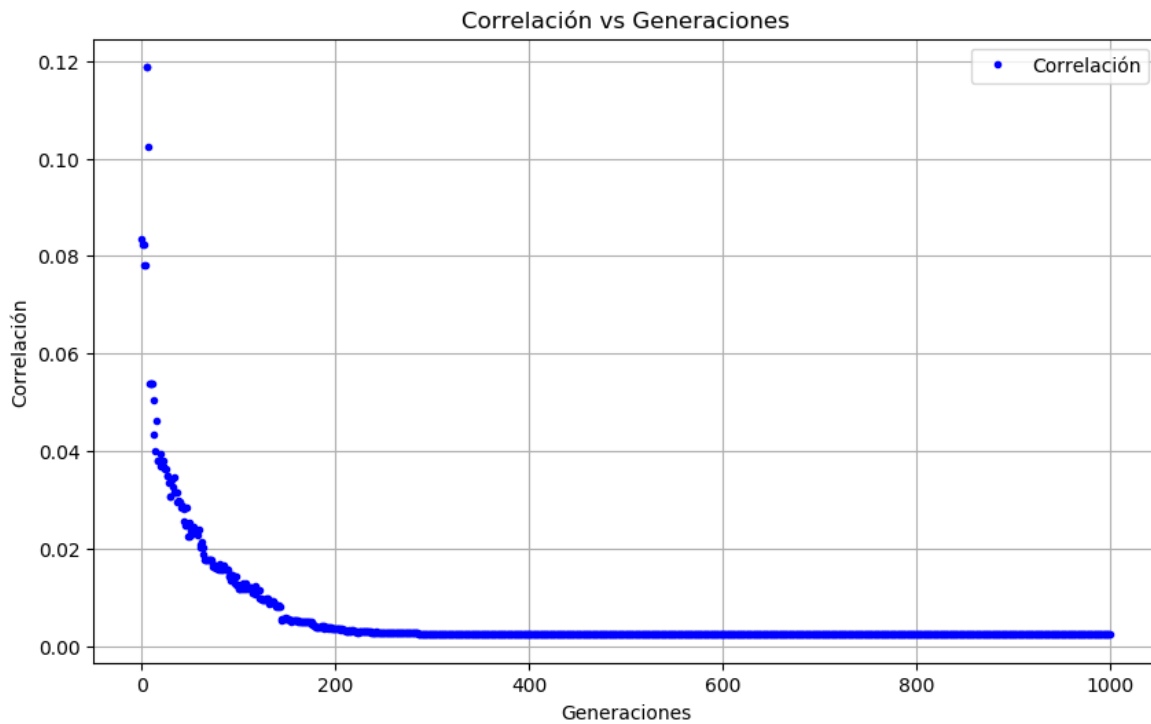


Figura 10 Correlación de los activos en el proceso evolutivo

Cómo se ha mencionado la correlación que se espera obtener en los activos integrantes del portafolio debe ser la menor posible, es decir que no tengan ni una fuerte correlación positiva ni una fuerte correlación negativa, más bien, lo más cercano a cero para obtener la mayor diversificación posible. La figura 10 muestra el comportamiento de la correlación a lo largo del proceso genético y es posible apreciar como algoritmo reduce la correlación de entre los integrantes del portafolio.