

# **Modelo para Crear Portafolios de Inversión Óptimos en la Bolsa Valores de Colombia**

Yeimy Alexandra Restrepo Gil

Paul Sebastián Salazar Ochoa.

Universidad Tecnológica de Pereira

Tesis presentada como requisito para optar el título de  
Magister en Administración Económica y Financiera

Director:

MSC. Eduardo Arturo Cruz Trejos

Notas del autor:

Facultad de Ingeniera Industrial

Maestría en Administración Económica y Financiera

Pereira, Noviembre 2018.

## Tabla de contenido

1.	CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.1.1	Modelos de optimización.....	1
1.1.2	Algoritmos genéticos.....	2
1.1.3	Algoritmo de vecindad. ....	2
1.2	Situación Problema.....	3
1.3	Definición del problema. ....	4
1.3.1	Hipótesis. ....	4
1.3.2	Hipótesis Definida.....	4
1.4	Objetivos.....	5
1.5	Justificación.....	6
1.5.1	Coherencia.....	7
1.6	Beneficios que conlleva.....	8
1.7	Limitaciones Previsibles.....	8
2.	CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL.....	9
2.1	Marco teórico .....	9
2.2	Marco Conceptual.....	11
2.3	Marco Normativo. ....	15
2.4	Marco filosófico.....	17
2.5	Marco situacional .....	18
2.6	Glosario.....	19
3.	CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO .....	20
3.1	Población o universo.....	20
3.2	Muestra.....	20
3.3	Delimitación del estudio .....	20

<b>3.4</b>	<b>Etapas o Fases de investigación.....</b>	<b>21</b>
<b>3.5</b>	<b>Variables e Indicadores.....</b>	<b>22</b>
<b>3.6</b>	<b>Instrumentos para recolección de información. ....</b>	<b>28</b>
<b>3.6.1</b>	<b>Tabla de Recopilación. ....</b>	<b>28</b>
<b>3.6.2</b>	<b>Cuestionario Perfil del Inversionista. ....</b>	<b>29</b>
<b>3.6.3</b>	<b>Tabla de Calificaciones. ....</b>	<b>31</b>
<b>3.6.4</b>	<b>Rangos de Clasificación.....</b>	<b>32</b>
<b>3.6.5</b>	<b>Confiabilidad del Instrumento. ....</b>	<b>32</b>
<b>3.7</b>	<b>Procesamiento de la información. ....</b>	<b>33</b>
<b>4.</b>	<b>CAPITULO IV: DIAGNÓSTICO OBTENIDO .....</b>	<b>34</b>
<b>5.</b>	<b>CAPITULO : PROPUESTA .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1</b>	<b>Validación del Modelo Desarrollado.....</b>	<b>48</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Validación Número 1.....</b>	<b>49</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Validación Número 2.....</b>	<b>50</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Validación Número 3.....</b>	<b>51</b>
<b>5.1.4</b>	<b>Validación Número 4.....</b>	<b>52</b>
<b>5.1.5</b>	<b>Validación Número 5.....</b>	<b>53</b>
<b>6.</b>	<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>6.1</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>55</b>
<b>6.2</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>55</b>
<b>7.</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>57</b>
<b>8.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>59</b>

## Índice de tablas

Tabla 1	Objetivos.....	5
Tabla 2	Coherencia.....	7
Tabla 3	Etapas o Fases de Investigación.....	21
Tabla 4	VARIABLES e Indicadores.....	22
Tabla 5	Precio Promedio Ponderado.....	24
Tabla 6	Dispersión-Varianza.....	24
Tabla 7	Dispersión-Desviación Estándar.....	25
Tabla 8	Rentabilidad del portafolio.....	25
Tabla 9	Variación del precio.....	26
Tabla 10	Varianza del portafolio.....	26
Tabla 11	Variable perfil de riesgo del inversionista.....	27
Tabla 12	Recopilación Maestra Transacción de Acciones.....	28
Tabla 13	Calificación Perfil del inversionista.....	31
Tabla 14	Prueba Piloto.....	33
Tabla 15	Valores.....	34
Tabla 16	Acciones Índice COLCAP (Feb - Abr 2018).....	38
Tabla 17	Acciones Seleccionadas.....	39
Tabla 18	Precios por fechas de las acciones seleccionadas.....	40
Tabla 19	Tabla de frecuencias por acción.....	41
Tabla 20	Portafolio - Peso de inversión inicial para cada acción.....	42
Tabla 21	Portafolio cromosoma padre - peso inversiones.....	43
Tabla 22	Portafolio cromosoma madre - peso inversiones.....	44
Tabla 23	Cruzamiento individuo 1 e individuo 2.....	45
Tabla 24	Mutación portafolio creado.....	46
Tabla 25	Portafolio que no requiere mutación.....	46
Tabla 26	Ponderación de inversión Portafolio 1.....	46
Tabla 27	Escenarios de Rentabilidad y Riesgo para diferentes pesos de inversión.....	47
Tabla 28	Soluciones Metaheurística SOLVER.....	49
Tabla 29	Mejores Soluciones Modelo Desarrollado.....	49
Tabla 30	Resumen Comparabilidad SOLVER.....	50
Tabla 31	Mejores Soluciones Modelo Desarrollado.....	50
Tabla 32	Resumen Comparabilidad SOLVER.....	51
Tabla 33	Mejores Soluciones Modelo Desarrollado.....	51
Tabla 34	Resumen Comparabilidad SOLVER.....	52
Tabla 35	Mejores Soluciones Modelo Desarrollado.....	52
Tabla 36	Mejores Soluciones Modelo Desarrollado.....	53

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Algoritmo Genético .....	12
Ilustración 2 Modelo Markowitz. ....	14
Ilustración 3 Coeficiente de Sharpe .....	14
Ilustración 4 Coeficiente alfa. Frias-Navarro, 2006.....	32
Ilustración 5Covarianza .....	33
Ilustración 6 Parámetros de Solver .....	35
Ilustración 7 Diagrama de flujo paso a paso .....	38
Ilustración 8 Interfaz para Descargar Serie de Precios .....	39
Ilustración 9Distribución Personalizada VGRAR .....	41
Ilustración 10Diagrama de flujo paso a paso .....	43
Ilustración 11Conjunto Eficiente .....	48

## **Resumen**

El interés de las personas y empresas por realizar diferentes inversiones que les permita obtener remanentes, ha despertado curiosidad y deseo por el mercado de renta variable, lo que ha generado el crecimiento y creación de nuevas empresas dedicadas a la consultoría y asesoría para realizar inversiones en la Bolsa de Valores de Colombia, las entidades realizan un estudio y seguimiento al comportamiento del mercado a través de modelos o mecanismos que permiten inducir las tendencias de proyección positiva o negativa de corto y largo plazo para cada una de las acciones, sin asegurar en su totalidad las predicciones por condiciones anormales del mercado que se puedan presentar.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo del presente trabajo de grado es proponer un modelo abierto con el paso a paso, que permita a los usuarios o empresas realizar seguimiento al comportamiento de las acciones y conocer las tendencias o proyecciones del resultado de las mismas a través de soluciones óptimas de mínimo riesgo y mayor rentabilidad comparando resultados con otro modelo, sin tener intermediarios que realicen esta asesoría a través de mecanismos utilizados como cajas negras que no permiten transferir el conocimiento.

## **Abstract**

The interest of people and companies to make different investments that allow them to obtain remnants, has aroused curiosity and desire for the equity market, which has generated the growth and creation of new companies dedicated to consulting and advice to make investments in the Stock Exchange of Colombia, the entities carry out a study and monitoring of the market behavior through models or mechanisms that allow to induce the tendencies of positive or negative projection of short and long term for each one of the actions, without insuring in their All predictions for abnormal market conditions that may arise.

Taking into account the above, the objective of the present work of degree is to propose an open model with the step by step, which allows users or companies to track the behavior of the actions and know the trends or projections of the result thereof to through optimal solutions of minimum risk and greater profitability by comparing results with another model, without having intermediaries that carry out this advice through mechanisms used as black boxes that do not allow the transfer of knowledge.

## 1. CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Antecedentes

#### 1.1.1 Modelos de optimización.

En 1952 Harry Markowitz propone un modelo en el cual se evalúa la selección de carteras de inversión realizando un comparativo entre riesgo y rendimiento, estructuró la evaluación de los riesgos a partir del análisis de la varianza y la covarianza de los títulos. Entre 1955 y 1957 fueron desarrolladas técnicas para la solución de problemas de programación cuadrática, entre ellos en 1956 Harry Markowitz plantea el problema de optimización de una función cuadrática sujeta a restricciones lineales aplicado a los principios establecidos por él mismo en 1952 (Fornero R, 2007).

Para 1958 James Tobin plantea el teorema de la separación de Tobin en el cual propone que las personas pueden diversificar sus inversiones en títulos con riesgo y sin riesgo, y que las actitudes frente al riesgo son simplemente combinaciones de carteras. En 1963 William Sharpe a partir de la teoría de Markowitz en la selección de cartera se enfoca en un modelo simplificado de las relaciones entre los títulos llamados Modelo de mercado, o modelo de índice único o modelo de Sharpe, introduciendo una descomposición al riesgo de cualquier cartera que actualmente se conocen como betas. Para el año 1965 Jack Treynor propone la evaluación del desempeño pasado utilizando como medida de riesgo de la cartera el indicador denominado coeficiente Beta, teniendo en cuenta la relación entre el riesgo y el rendimiento para evaluar el desempeño de una cartera (Fornero R, 2007).

Para el año 1966 W. Sharpe plantea la medida de desempeño de una cartera de inversión (coeficiente de Sharpe) basado en el planteamiento de media y varianza de Markowitz con el fin de evaluar las perspectivas de una cartera de inversión, en este Sharpe plantea la utilización de una tasa libre de riesgo como referencia para evaluar el rendimiento.

El coeficiente de Sharpe está diseñado para medir el rendimiento esperado por unidad de riesgo de una estrategia de inversión cero. La diferencia entre los rendimientos de dos inversiones muestra los resultados de una estrategia de esa forma. El coeficiente no se refiere al rendimiento de una sola inversión. (Fornero R, 2007, p.6)



En 1968 Michael Jensen emplea la medida alfa fundamentado en el modelo de Sharpe para medir el desempeño de cartera, es decir el diferencial existente entre el rendimiento de la cartera y el rendimiento de la cartera de referencia (índice), estableciendo que si  $\alpha=0$  se comprende que la administración de cartera no ha generado ningún beneficio, y si el  $\alpha>0$  evidencia la efectiva selección de los títulos de la cartera o de los momentos oportunos de las transacciones (Fornero R, 2007).

### **1.1.2 Algoritmos genéticos.**

Ahora bien, en 1859 Charles Darwin propone la evolución de las especies a través de la selección natural, en donde los individuos mejor adaptados son los que sobreviven, y transfieren los genes, los cuales son heredados de generación en generación, aun así, pueden existir diferencias entre los genes de los individuos de una población, y cuentan con un ancestro común en la forma de adaptación al ambiente. En 1960 John Holland inicia con la propuesta de los sistemas adaptativos, escribe el libro *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*, en el cual propone el método de optimización encontrando soluciones buenas o aproximadas (Fornero R, 2007b).

Holland con su propuesta orienta a la simulación por medio de una herramienta (computadora) en el desarrollo de soluciones buenas o posibles, a partir de una población inicial, él considera que así como en la biología se presenta un algoritmo genético con mutación, selección natural y recombinación se puede aplicar en la selección de estrategias de inversión. En la actualidad el algoritmo genético es usado para resolver problemas de difícil optimización combinatoria, es aplicado en la definición de tácticas o estrategias de inversión y la predicción del mercado de títulos valores, así mismo es utilizado en muchos campos de la ingeniería, la medicina, la informática, el aprendizaje de las personas, entre otros (Fornero R, 2007b).

### **1.1.3 Algoritmo de vecindad.**

A esta heurística también se le conoce como algoritmo de búsqueda local, en donde se buscan soluciones vecinas que sean de buena calidad y mejores a la actual, a partir de este modelo se han realizado varios trabajos como lo son investigación en 1999 de Vondouris y Tsang que

proponen la Búsqueda Local Guiada en la división del vecindario para que se creen subvecindarios y asociar una variable binaria a cada uno.

En 1989 y 1995 se define la metaheurística GRASP de Feo y Resende para encontrar soluciones aproximadas que no necesariamente eran las óptimas, alternadamente en 1989 aparecieron los algoritmos meméticos (Moscato) en donde se aplican algoritmos genéticos y algoritmos de vecindad para realizar la optimización, ya para 1997 la concentración Heurística de Rosing y Revelle aplicando un algoritmo de búsqueda local en dos fases, en la primera fase genera un conjunto de óptimos locales y segunda fase formando en conjunto de concentración y aplica un algoritmo exacto para optimizar la solución del conjunto, en 1999 se presenta el método de Búsqueda Dispersa o SS en el cual no utiliza la aleatoriedad para buscar las soluciones, así mismo en este año se planteó la búsqueda Tabú básica de Glover que planteaba pasar de una solución a otra vecina sin importar si es de mejor calidad estableciendo un criterio de parada (Cruz M, Díaz M. 2009).

## **1.2 Situación Problema.**

La Globalización y el desarrollo económico en la actualidad han permitido a las empresas y personas tener la posibilidad de realizar inversiones en diferentes campos del sector financiero, sin embargo, se evidencia desconocimiento por parte de las personas con relación a la inversión en mercado de capitales, puesto que, acuden a entidades para la asesoría en inversiones en la bolsa de valores.

Aunado a lo anterior y partiendo de la rapidez con la que se conecta el mundo se ha creado un interés general de las personas y empresas por realizar inversiones en la bolsa de valores de Colombia, lo que ha permitido la creación de nuevas entidades dedicadas a la asesoría y gestión de portafolios de inversión actuando como intermediarios. Prevaleciendo para estos efectos la carencia de un mecanismo que permita a los usuarios la autogestión de sus propios portafolios de inversión apuntando a la minimización del riesgo y la maximización de la rentabilidad.

El desconocimiento de las personas y/o empresas con relación a la conformación de un portafolio de inversión en el mercado accionario de Colombia, en contraste con la ausencia de un modelo matemático que permita la optimización del recurso y la generación de alternativas de inversión.

### **1.3 Definición del problema.**

¿Cuál debe ser el modelo para crear portafolios de inversión óptimos en el mercado de renta variable de la bolsa de valores de Colombia?

#### **1.3.1 Hipótesis.**

El modelo que se va a proponer servirá como opción de inversión en títulos financieros de renta variable. Los métodos para conformar portafolios de inversión actualmente simulan cajas negras, es decir, que a estos modelos se entregan unas variables de entradas supuesto y arrojan como resultado unas variables de pronóstico.

El Diseño de un modelo para la creación de un portafolio de inversión en la bolsa de valores de Colombia, le permitirá al inversionista ajustar y adaptar su propio modelo manejando directamente las variables de entrada y de salida, pero no como una caja negra en la cual no se da acceso al procesamiento de los datos, con el objetivo de la minimización del riesgo y la maximización de la rentabilidad.

#### **1.3.2 Hipótesis Definida.**

Diseño de un modelo para la creación de un portafolio de inversión en la bolsa de valores de Colombia que le permitirá al inversionista la minimización del riesgo y la maximización de la rentabilidad.

## 1.4 Objetivos.

Tabla 1  
*Objetivos*

<b>PREGUNTAS</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>
¿Cuál debe ser el modelo para crear portafolios de inversión óptimos en el mercado de renta variable de la bolsa de valores de Colombia?	Diseñar un modelo para la creación de portafolios de inversión óptimos en el mercado de renta variable de la bolsa de valores de Colombia
<b>SUBPREGUNTAS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>
¿Qué modelos de matemáticos se pueden aplicar en la creación de un portafolio de inversión?	Analizar los modelos matemáticos que sirven para la creación de portafolios de inversión óptima en renta variable
¿Cuáles son las metodologías para crear portafolios de inversión óptima en renta variable?	
¿Cuáles son las variables que se tienen en cuenta para la selección de acciones en la bolsa de valores de Colombia?	Identificar las variables que se deben tener en cuenta para la selección de las acciones en la bolsa de valores de Colombia.
¿Cómo se debe estructurar el modelo para crear portafolios de inversión óptimos en el mercado de renta variable de la bolsa de valores de Colombia?	Estructurar el modelo para crear portafolios de inversión óptimos en el mercado de renta variable de la bolsa de valores de Colombia
¿Cuál es la metodología que permitirá validar el modelo de creación de portafolios de inversión óptima en el mercado de renta variable de la bolsa de valores de Colombia?	Validar el modelo de creación de portafolios de inversión óptima en el mercado de renta variable de la bolsa de valores de Colombia

Fuente: Construcción propia

## **1.5 Justificación.**

Con la presente investigación se brindará a personas y empresas la oportunidad de crear portafolios de inversión enfocados en la maximización de la rentabilidad y minimización del riesgo, de tal manera que se otorgue un instrumento que facilite la toma de decisiones entre las diferentes opciones del mercado de renta variable de la bolsa de valores de Colombia. Partiendo del desconocimiento por parte de las personas sobre inversión en mercado de capitales, sumado al desarrollo global y a la intención de ser más eficientes con el recurso financiero, se abre la ventana al desarrollo de metodologías o modelos que permitan a los inversionistas contemplar otras posibilidades de inversión diferentes a las tradicionales.

Mediante la utilización de una herramienta tecnológica se evaluarán las alternativas de inversión brindando como resultado aquellas que permitan la maximización de la rentabilidad esperada y la minimización del riesgo inherente a los títulos valores candidatos a conformar el portafolio, motivo por el cual, se adaptarán heurísticas y metaheurísticas como algoritmo genético y algoritmo de vecindad, orientadas a facilitar la selección de las acciones por parte de los inversionistas.

### 1.5.1 Coherencia.

Tabla 2  
*Coherencia*

---

Pregunta de Investigación	¿Cuál debe ser el modelo para crear portafolios de inversión óptimos en el mercado de renta variable de la bolsa de valores de Colombia?
Objetivo General	Diseñar un modelo para la creación de portafolios de inversión óptimos en el mercado de renta variable de la bolsa de valores de Colombia
Hipótesis	Diseño de un modelo para la creación de un portafolio de inversión en la bolsa de valores de Colombia que le permitirá al inversionista la minimización del riesgo y la maximización de la rentabilidad.
Título	MODELO PARA CREAR PORTAFOLIOS DE INVERSIÓN ÓPTIMOS EN LA BOLSA VALORES DE COLOMBIA.

---

Fuente: Construcción propia

## **1.6 Beneficios que conlleva.**

Con el modelo propuesto se busca aportar al conocimiento de las personas y empresas, acerca del comportamiento de las acciones y de los posibles títulos valores que podrían conformar sus portafolios, a partir de lo anterior se considera la posibilidad de dinamizar las inversiones de las personas y empresas en el mercado de capitales, campo que ha despertado el interés de los inversionistas por las grandes oportunidades que ofrece, quienes de manera activa buscan día a día el crecimiento de sus recursos a partir de riesgo mínimo y rentabilidad superior.

De otro lado, disminuir la dependencia de los inversores con relación a los intermediarios que cuentan con un conocimiento, el cual no es compartido en la actualidad con las personas interesadas en inversiones de bolsa de valores.

Adicionalmente, con el desarrollo del modelo de creación de portafolios de inversión óptimos en renta variable, se puede generar un impacto muy representativo si se lleva a ejecución en el observatorio empresarial de la Universidad Tecnológica de Pereira, puesto que, se contaría con un instrumento de aplicación que puede ser utilizado para fortalecer el conocimiento y facilidad de aprendizaje de los estudiantes.

## **1.7 Limitaciones Previsibles.**

Se contempla una incertidumbre en relación al modelo matemático que se aplicará para optimizar los portafolios de inversión, por lo que se estudiará la metaheurística evolutiva del algoritmo genético.

## 2. CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL

### 2.1 Marco teórico

**Mercado de capitales:** es un instrumento de gran importancia para el desarrollo económico de un país a través del cual las personas realizan inversiones y venta de títulos valores, que pueden ser a corto o a largo plazo, teniendo en cuenta lo anterior los ahorradores trasladan sus recursos a empresas del sector financiero o productivo, esperando un crecimiento en el valor de los títulos que le permita obtener un remanente de la inversión realizada.

Los mercados de capitales se dividen en Intermediado y No intermediado, en el intermediado se cuenta con participación de entidades financieras, quienes perciben el dinero de ahorradores para actuar como intermediarios entre la persona o entidad que cuenta con liquidez y las empresas o terceros que requieren el recurso, el proceso de intermediación les permite obtener una remuneración ya que reciben dineros a una tasa baja y prestan a una tasa más alta, por lo que la diferencia se convierte en su beneficio, el mercado no intermediado que consiste en la inversión y negociación a través de instrumentos como títulos de renta fija que incluyen CDTs, bonos, etc. y títulos de renta variable como acciones y otros (Superintendencia financiera, 2008).

El mercado de capitales no intermediado posee una serie de beneficios ya que reduce los costos de transacción del capital y permite a los ahorradores obtener mayores ganancias, también para las empresas que requieren recursos financiarse a menores costos porque se evita la intermediación, otro aspecto es la posibilidad que brinda a los inversionistas de diversificación del portafolio según sus necesidades y preferencias teniendo en cuenta el riesgo, la rentabilidad y el tiempo de inversión, sin embargo también es importante mencionar que las personas por desconocimiento del tema y temor a pérdida en su inversión, contratan personal experto o si es del caso comisionistas de bolsa que cuenten con experiencia para que los guíen en su portafolio de inversión, de esta manera se convierten en un tipo de intermediarios que relacionan al inversionista y al demandante de los recursos.

Existen diferentes tipos de mercados de capitales:

- Mercado de valores que obedece a los títulos de renta fija y renta variable.
- Mercado de Créditos que corresponden a las actividades de las entidades o corporaciones financieras.



- Mercado organizado donde las personas interactúan comprando y vendiendo con contratos ya estandarizados.
- Mercado de Commodities donde se comercializan materias primas.
- Mercado de Divisas en el cual se negocian monedas extranjeras.

En el mercado de capitales se tienen diferentes actores o participantes, entre ellos se encuentran la Bolsa de valores siendo un ente bastante importante ya que brinda todo el modelo y estructura verificando los movimientos de compra y venta de títulos, los emisores de valores que son aquellas entidades que colocan acciones con la intención de percibir inversiones, las sociedades comisionistas de bolsa correspondiente a intermediarios y los inversionistas que obedecen a aquellas personas o empresas con liquidez y disposición para invertir (Superintendencia financiera, 2008).

**Bolsa de valores:** entidad privada que con su estructura brinda la oportunidad a compradores y vendedores de negociar valores, entre ellos están las acciones, los títulos de participación, bonos, entre otros. (Superintendencia financiera, 2008).

Entre las responsabilidades de las bolsas de valores están:

- Promover la negociación de valores entre compradores y vendedores.
- Inscribir valores o títulos para su comercialización en la bolsa.
- Definir los reglamentos para la negociación de valores.
- Cancelar la inscripción de valores que no cuenten con el respaldo necesario para garantizar su seguridad.
- Brindar información a los actores de la bolsa en cuanto a comportamiento de los valores o títulos y sus precios.

Responsabilidades de las empresas que están en la bolsa de valores:

- Proporcionar información oportuna para que todos los actores de la bolsa estén en condición de tomar decisiones.

## 2.2 Marco Conceptual

**Heurísticas:** En el área de la optimización matemática hacen referencia al conjunto de técnicas empleadas para resolver problemas aplicando métodos inteligentes, los cuales no son producto de un riguroso análisis formal, sino del conocimiento experto del tema. Su objetivo consiste encontrar soluciones de buena calidad, de manera simple y rápida a un problema matemático, el método de búsqueda de la solución óptima es de manera progresiva y solo avanza si logra obtener una solución mejor que la actual. Es importante destacar que, para la aplicación de una heurística las soluciones de alta calidad se encuentran distribuidas en el campo de soluciones de manera no uniforme, de otro lado esta puede encontrar soluciones óptimas del sistema, sin embargo, no arroja como resultado de su aplicación la solución global del sistema (Gallego, Toro, Escobar, 2015).

**Metaheurísticas:** Clase de métodos aproximados que están diseñados para brindar soluciones factibles a problemas de difícil optimización combinatoria, para los cuales los métodos heurísticos no brindan la solución óptima. Actualmente algunos procedimientos metaheurísticos se encuentran inspirados en la física, en la evolución, y en la biología (Suárez O, 2011).

**Algoritmo de vecindad:** Heurística que se emplea cuando se cuenta con una solución inicial de problema matemático, este consiste en utilizar un mecanismo de transición donde se buscan soluciones vecinas de mejor calidad a la solución actual, ya que mejoran el resultado general. este proceso se realiza hasta que no se encuentra una solución vecina que sea de mejor calidad que la actual.

Cada solución ( $x$ ) cuenta con un conjunto de soluciones vecinas  $N(x)$ , y se revisa en las soluciones vecinas cual puede mejorar el resultado verificando en la función objetivo, las configuraciones vecinas pueden ser factibles o infactibles. Existe vecindad fija y vecindad variable, en la última se tienen varios mecanismos de transición para evaluar la vecina con respecto a la solución actual.

También se exponen (Gallego *et al.*, 2015). Técnicas Heurísticas y Metaheurísticas) lo siguiente:

Las heurísticas de vecindad fija o de vecindad variable pueden tener un mecanismo de perturbación controlada, también denominado Iterated Local Search (ILS) que permita introducir iteraciones bruscas cuando el proceso agota todos sus mecanismos propios y no logra mejorar la solución actual.

**El algoritmo genético:** Técnica metaheurística empleada para resolver configuraciones matemáticas de optimización de difícil combinatoria, a diferencia de las técnicas heurísticas, este algoritmo posee la versatilidad de brindar soluciones globales al problema de optimización planteado, Holland en la década del 70 idealizó un mecanismo matemático inspirado en los procesos de la evolución de las especies fundamentado en las teorías de Darwin y de la genética natural.

El algoritmo genético usa una población de individuos, que en los problemas combinatoriales representa un conjunto de configuraciones, para resolver un problema de optimización complejo a través de las siguientes fases, cálculo de función objetivo inicial, realiza selección de los individuos mejor condicionados, etapa de recombinación, etapa de mutación con el enfoque principal de generar nuevas poblaciones, cabe mencionar, que realiza dicho proceso de manera iterativa hasta cumplir con el criterio de parada y de esta manera brindar la solución óptima del problema.

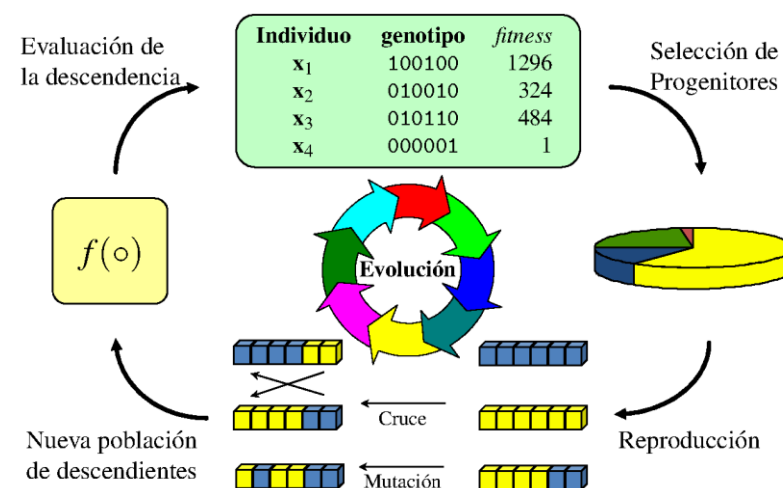


Ilustración 1 Algoritmo Genético

### Ilustración.<sup>1</sup>

Los Autores del presente trabajo de grado tendrán en cuenta el algoritmo genético como base principal del modelo de optimización, se buscará con la aplicación del mismo, la

<sup>1</sup>[En Línea]: Capari Sancho, Fernando, (s.f.) Algoritmos genéticos, <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=65>

optimización de la rentabilidad de las acciones componentes del portafolio mediante la función de minimización del riesgo del portafolio.

Dentro del modelo se empleara como mecanismo de codificación el sistema binario, puesto que, este facilitara las etapas de recombinación y mutación.

Es importante destacar que, los procesos de recombinación, así como, el de mutación, consisten en efectuar modificaciones sobre un elemento del vector  $K$  con  $N$  elementos, con el objetivo de establecer dos nuevos vectores y de esta manera obtener dos nuevas configuraciones candidatas a solución óptima.

**Sistema Binario:** Corresponde a un sistema de numeración empleado para la codificación y procesamiento de datos en la informática, compuesto por números de base  $B$  y cuya generalización matemática se encuentra relacionada bajo la expresión  $N \equiv \dots n_4b_4 + n_3b_3 + n_2b_2 + n_1b_1 + n_0b_0 + n_{-1}b_{-1}$ . Por otra parte, el sistema binario corresponde a un sistema de numeración donde  $B$  equivale a 2, compuesto por un alfabeto de dos elementos para representar cualquier número:  $\{0,1\}$ , denominadas cifras binarias o bits (Dados, 1996). En el presente trabajo será empleado el sistema de numeración binario para la etapa de codificación de los números aleatorios para la generación de la primera población del algoritmo genético Etapa 1, así como, para las etapas de combinación y mutación.

**Modelo de Optimización:** Antes de presentar la definición, es menester definir primeramente el concepto de *modelo*, en la actualidad podemos sobre entenderlo como esquemas teóricos representados de manera matemática, principalmente para facilitar la comprensión o comportamiento de un sistema o una realidad.<sup>2</sup>

Ahora Bien, Un *modelo de Optimización* hace referencia a todo sistema o representación matemática compuesta por un conjunto de variables de decisión, las cuales están orientadas a la maximización/minimización de la función objetivo, la cual se encuentra regulada por un conjunto de restricciones (Ramos, Sánchez, Ferrer, Barquín, Linares. 2010).

Para nuestra investigación desarrollaremos el modelo de optimización de portafolios propuesto por los autores (Gálvez, Salgado, Gutiérrez (s, f) En su artículo “Optimización De Carteras De Inversión Modelo De Markowitz Y Estimación De Volatilidad Con Garch”, en el cual presentan el modelo propuesto por Harry Markowitz, para la minimización del riesgo

---

<sup>2</sup> [En línea]: Real Academia Española, definición Modelo, <http://dle.rae.es/srv/search/search?w=modelos>

con el objetivo de llevar a cabo la selección de los títulos valores que deberán ser parte del portafolio de inversiones.

$$\begin{aligned} & \text{Min } \sigma_c^2 \\ & \text{s/ a} \\ & \sum_{i=1}^N \bar{R}_i x_i = R \\ & \sum_{i=1}^N x_i = 1 \end{aligned}$$

$$\text{donde } \sigma_c^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \sigma_{ij}$$

*Ilustración 2* Modelo Markowitz.

Es importante mencionar que, Markowitz sentó las bases teóricas fundamentales orientadas al análisis de la estructuración de portafolios, sin embargo, es de mencionar que a raíz de sus proposiciones surgieron grandes autores quienes, a partir del modelo propuesto llevaron a cabo nuevas preposiciones fundamentados por los puntos no tenidos en cuenta en el modelo Markowitz.

(Medina, 2003) en su artículo “Estrategia de inversión optimizando la relación rentabilidad-riesgo: evidencia en el mercado accionario Colombiano” promueve la optimización de portafolios de inversión mediante un modelo que optimice el ratio de Sharpe. El coeficiente de Sharpe está diseñado para medir el rendimiento esperado por unidad de riesgo de una estrategia de inversión cero.

$$\begin{aligned} \text{Max SR} &= \frac{R_p - r_f}{\sigma(R_p - r_f)} \\ \text{donde: } R_p &= \sum_{i=1}^n x_i E(R_i) \text{ y } \sigma(R_p - r_f) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j \sigma_{ij}} \\ \text{sujeto a } &0 < x_i \leq 1 \text{ y } \sum_{i=1}^n x_i = 1 \end{aligned}$$

*Ilustración 3* Coeficiente de Sharpe

Para nuestra investigación, no será empleado el enfoque propuesto por los autores del artículo de realizar la maximización del portafolio a través del ratio de Sharpe, puesto que, como se relacionó con anterioridad en el presente trabajo se buscara minimizar el riesgo a

través de la función objetivo, cabe mencionar que se propondrá el ratio de Sharpe como una restricción del modelo de optimización propuesto, así mismo, cabe precisar que la expresión compuesta  $\sigma = (R_p - R_f)$  será evaluada a través de la volatilidad de la acción.

**Portafolio de inversión:** Según superintendencia financiera (s, f) Es Una combinación de activos financieros poseídos por una misma persona, natural o jurídica. Un portafolio de inversión es diversificado cuando en el conjunto de activos se combinan especies con rentabilidades, emisores, modalidades de pago de intereses y riesgos diferentes.

De otro lado, (Abzuardez, 2014) los define como “selección de documentos que se cotizan en el mercado bursátil, y en los que una persona o empresa deciden colocar o invertir su dinero. Está compuesto por una combinación de instrumentos de: Renta Fija, Renta Variable, Busca repartir el riesgo al combinar diferentes instrumentos: acciones, depósitos a plazo, efectivo, monedas internacionales, bonos, bienes raíces.”

En la actualidad pueden existir diferentes tipos de portafolios que puede encontrarse constituidos por títulos valores con diferentes objetivos de inversión, entre estos podemos encontrar portafolios de perfil conservador cuyo enfoque es no afectar el capital inicial y tener el riesgo tendiente a cero, así como, pueden encontrarse portafolios con perfiles moderados o agresivos, donde la principal característica que los distingue es el nivel de riesgo asumido durante la conformación del mismo. Para portafolios de perfil moderado se busca tener una mayor rentabilidad sobre el nivel de riesgo asumido, mientras que los portafolios de perfil agresivo usualmente asumen niveles de riesgos altos en búsqueda de rendimientos muy superiores. Entre tanto, podríamos comprender como un portafolio optimo cuando este brinda como resultado un rendimiento mayor al nivel del riesgo presente durante la inversión.

### 2.3 Marco Normativo.

**Ley 964 de 2005,** Por la cual se dictan normas generales y se señalan en ellas los objetivos y criterios a los cuales debe sujetarse el Gobierno Nacional para regular las actividades de manejo, aprovechamiento e inversión de recursos captados del público que se efectúen mediante valores y se dictan otras disposiciones. (Bolsa de Valores. s, f).

**Ley 795 de 2003,** Por la cual se ajustan algunas normas del Estatuto Orgánico del Sistema Financiero y se dictan otras disposiciones (Bolsa de Valores. s, f).

**Ley 510 de 1999**, Por la cual se dictan disposiciones en relación con el sistema financiero y asegurador, el mercado público de valores, las Superintendencias Bancaria y de Valores y se conceden unas facultades (Bolsa de Valores. s, f).

**Ley 45 de 1990**, Por la cual se expiden normas en materia de intermediación financiera, se regula la actividad aseguradora, se conceden unas facultades y se dictan otras disposiciones (Bolsa de Valores. s, f).

**Ley 35 de 1993**, Por la cual se dictan normas generales y se señalan en ellas los objetivos y criterios a los cuales debe sujetarse el Gobierno Nacional para regular las actividades financiera, bursátil y aseguradora y cualquier otra relacionada con el manejo, aprovechamiento e inversión de recursos captados del público y se dictan otras disposiciones en materia financiera y aseguradora (Bolsa de Valores. s, f).

**Ley 226 de 1995**, Por la cual se desarrolla el artículo 60 de la Constitución Política en cuanto a la enajenación de la propiedad accionaria estatal, se toman medidas para su democratización y se dictan otras disposiciones (Bolsa de Valores. s, f).

**Ley 27 de 1990**, Por la cual se dictan normas en relación con las bolsas de valores, el mercado público de valores, los depósitos centralizados de valores y las acciones con dividendo preferencial y sin derecho de voto (Bolsa de Valores. s, f).

**Ley 1328 de 2009**, Por la cual se dictan normas en materia financiera, de seguros, del mercado de valores y otras disposiciones (Reforma Financiera) (Bolsa de Valores. s, f).

**Ley 1314 de 2009**, Por la cual se regulan los principios y normas de contabilidad e información financiera y de aseguramiento de información aceptados en Colombia, se señalan las autoridades competentes, el procedimiento para su expedición y se determinan las entidades responsables de vigilar su cumplimiento (Bolsa de Valores. s, f).

**Ley 1266 de 2008**, Por medio de la cual se dictan disposiciones generales del Habeas Data y se regula el manejo de la información contenida en bases de datos personales, en especial la Financiera, Crediticia, Comercial, de Servicios y la proveniente de Terceros Países y se dictan otras disposiciones (Bolsa de Valores. s, f).

**Decreto 2555 de 2010**, Se recogen y reexpiden las normas en materia del sector financiero, asegurador y del mercado de valores y se dictan otras disposiciones (Bolsa de Valores. s, f).

**Decreto 3327 de 2009**, Decreto reglamentario Ley 1231 de 2008 (Por la cual se unifica la factura como título valor como mecanismo de financiación para el micro, pequeño y mediano empresario) (Bolsa de Valores. s, f).

**Decreto 2805 de 2009**, El Decreto No. 2805 de 2009 que modifica el artículo 49 del Decreto 1525 de 2008 que fue adicionado mediante el Decreto 4471 de 2008. Se debe tener en cuenta que el Decreto 1525 de 2008 contiene las normas relacionadas con la inversión de los recursos de las entidades estatales del orden nacional y territorial (Bolsa de Valores. s, f).

**Decreto 1797 de 2008**, Por el cual se regula, para efectos tributarios, el régimen de las Cámaras de Riesgo Central de Contraparte y de algunas operaciones sobre derivados (Bolsa de Valores. s, f).

**Decreto 3923 de 2006**, Por el cual se regula la elección de los miembros independientes de las juntas directivas de los emisores de valores (Bolsa de Valores. s, f).

**Decreto 1514 de 1998**, Por el cual se reglamenta parcialmente el Estatuto Tributario y se dictan otras disposiciones. (Factura - Comprobante de liquidación) (Bolsa de Valores. s, f).

## **2.4 Marco filosófico**

Con la presente investigación los autores buscan dotar de una herramienta a las personas y empresas con el objetivo de que éstos puedan crear portafolios de inversión enfocados en la maximización de la rentabilidad y minimización del riesgo, de tal manera que se otorgue un instrumento que facilite la toma de decisiones entre las diferentes opciones del mercado de renta variable de la bolsa de valores de Colombia. Teniendo en cuenta que, actualmente en el mundo prima un desconocimiento sobre el funcionamiento de las inversiones en el mercado de capitales, y se evidencia la necesidad de cada día ser más eficientes en el uso del recurso financiero disponible, se generan oportunidades para el desarrollo de metodologías o modelos que permitan a los inversionistas facilitar sus decisiones. De acuerdo a lo anterior con el desarrollo de la presente investigación se busca aumentar la oportunidad para que personas y organizaciones contemplen otras posibilidades de inversión diferentes a las tradicionales.

Aportar a la mejora en la facilidad de toma de decisiones, que busca aumentar el rendimiento de los recursos financieros de las personas o empresas a través de un instrumento, es uno de los principales propósitos de este proyecto, ya que se pretende a través



del mismo permitir a los inversionistas la creación de sus propios portafolios, entender el comportamiento de las acciones y de los escenarios posibles esperados a corto o mediano plazo.

En cualquier caso cada persona, familia o empresa necesita de recursos económicos para su supervivencia, siendo este componente uno de los más importantes para el equilibrio y sostenimiento e incluso de otros aspectos como unión, convivencia y crecimiento, motivo por el cual en la actualidad las personas o empresas han buscado otras alternativas de ingreso adicionales a su trabajo o actividad económica, una opción para satisfacer esta necesidad es la inversión en la bolsa de valores de Colombia que puede generar una entrada de recursos.

## 2.5 Marco situacional

**Bolsa de valores de Colombia:** entidad privada que administra la negociación de valores en Colombia de Renta Fija, Renta variable, Divisas, commodities Energeticos, entre otros, así lo menciona la empresa a través de su página:

La BVC es una bolsa multi-producto, multi-mercado integrada verticalmente que administra las plataformas de negociación y registro para los mercados de acciones, renta fija, derivados, divisas, OTC y servicios a emisores. También provee servicios de emisiones desmaterializadas, administración, compensación, liquidación y custodia de títulos valores (Deceval) (Bolsa de Valores, s, f).

En la BVC se tienen diferentes índices de Renta variable, entre ellos el índice Colcap que presenta la variación de los precios de las 20 acciones de empresas más líquidas y grandes por su capitalización en la bolsa de valores de Colombia, el índice Colsc que está compuesto por 15 acciones de pequeña capitalización, el índice Colir integrado por las acciones de entidades que cuentan con el Reconocimiento Emisores IR (reconocimiento por buenas y mejores prácticas en el manejo e información a los inversionistas y público del mercado accionario en general), y el índice Coleqty que incluye 40 acciones de acuerdo a calificaciones en volumen, frecuencia de negociación y rotación.

Las bolsas de valores en general impulsan el desarrollo y crecimiento del mercado de activos financieros en el país, al facilitar el financiamiento de empresas industriales,

comerciales y de servicios, las cuales requieren de manera continua recursos para adelantar su tarea productiva. (Superintendencia financiera, 2008)

## 2.6 Glosario.

**Algoritmo genético:** Técnica metaheurística empleada para resolver configuraciones matemáticas de optimización de difícil combinatoria.

**Algoritmo de vecindad:** Heurística que se emplea cuando se cuenta con una solución inicial de un problema matemático, este consiste en utilizar un mecanismo de transición donde se buscan soluciones vecinas de mejor calidad a la solución actual

**Decreto:** Es una decisión reglamentada por una autoridad sobre su campo de competencia, sin necesidad de que esta sea avalado por el congreso de la república.

**Heurísticas:** En el área de la optimización matemática hacen referencia al conjunto de técnicas empleadas para resolver problemas aplicando métodos inteligentes, los cuales no son producto de un riguroso análisis formal, sino del conocimiento experto del tema

**Ley:** Regla o norma establecida por una autoridad competente (Gobierno).

**Modelo Optimización:** hace referencia a todo sistema o representación matemática compuesta por un conjunto de variables de decisión, las cuales están orientadas a la maximización/minimización de la función objetivo.

**Metaheurísticas:** Clase de métodos aproximados que están diseñados para brindar soluciones factibles a problemas de difícil optimización combinatoria, para los cuales los métodos heurísticos no brindan la solución óptima.

**Sistema Binario:** corresponde a un sistema de numeración donde B equivale a 2, compuesto por un alfabeto de dos elementos para representar cualquier número:  $\{0,1\}$ , denominadas cifras binarias o bits.

### 3. CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

**Método de Investigación:** Método Científico porque presenta una metodología secuencial en la cual se realizará la investigación paso a paso, garantizando seguimiento oportuno para la misma.

**Tipo de investigación:** Investigación cuantitativa ya que se utilizarán datos numéricos para el desarrollo del Algoritmo genético, algoritmo de la vecindad, y el sistema binario que se incluirá en el modelo.

**Tipo de estudio:** Descriptivo ya que se pretende describir características fundamentales y comportamiento de las acciones.

#### 3.1 Población o universo.

Para la investigación se tendrán en cuenta las acciones adscritas a la Bolsa de Valores de Colombia correspondientes al mercado de renta variable.

#### 3.2 Muestra.

Teniendo en cuenta que la población está compuesta por pocas empresas, el proyecto se llevará a cabo por medio de censo, por esta razón no se considera una muestra para este trabajo.

#### 3.3 Delimitación del estudio

- Espacial: Colombia
- Demográfica: Bolsa de valores de Colombia (BVC)
- Temática: portafolios de inversión en renta variable
- Temporal: 5 meses

### 3.4 Etapas o Fases de investigación.

Tabla 3  
*Etapas o Fases de Investigación*

ETAPA	DESCRIPCIÓN	ACTIVIDADES	PRODUCTOS
<b>Etapa 1:</b> Modelos matemáticos de optimización	En esta etapa se analizarán los modelos matemáticos que sirven para optimizar portafolios de inversión en renta variable.	Frente a los modelos de optimización se realizará: Desde lo TEÓRICO: Análisis de los diferentes modelos de optimización identificando ventajas y limitaciones, Desde lo PRÁCTICO: Observación de los modelos de optimización que se han usado para la creación de portafolios de inversión	Documento de análisis de los modelos matemáticos que pueden servir para crear portafolios de inversión óptimos en renta variable.
<b>Etapa 2:</b> Variables para selección de acciones en la bolsa de valores de Colombia	En esta etapa se analizarán las variables que se deben tener en cuenta para la selección de las acciones de la bolsa de valores de Colombia	Frente a los variables se realizará: Desde lo TEÓRICO: Análisis de las diferentes variables inherentes a las acciones identificando los criterios predominantes para la selección. Desde lo PRÁCTICO: Observación de las variables que se tienen en cuenta para la creación de portafolios de inversión	Documento de análisis de las variables que se pueden tener en cuenta para la creación de portafolios de inversión.
<b>Etapa 3:</b> Estructuración del modelo para crear portafolios de inversión óptimos	En esta etapa se estructurará el modelo para crear portafolios de inversión óptimos en renta variable	Frente al modelo se realizará: Desde lo TEÓRICO: Análisis de las diferentes modelos de optimización identificando las funciones objetivo, restricciones y algoritmos de solución. Desde lo PRÁCTICO: Observación de los modelos que se han usado en la creación de portafolios.	Modelo en hoja de cálculo para crear portafolios de inversión óptimos en renta variable.
<b>Etapa 4:</b> Validación del modelo para crear portafolios de inversión óptimos	En esta etapa se validará el modelo de creación de portafolios de inversión óptimos en renta variable respecto a otro modelo de optimización	Frente a la validación se realizará: Desde lo PRÁCTICO: Validación del modelo estructurado respecto a un modelo del mercado.	Documento de análisis de resultados de la validación realizada.

Fuente: Construcción propia

### 3.5 Variables e Indicadores.

Tabla 4  
*Variables e Indicadores*

VARIABLE	DESCRIPCION	FÓRMULA	CLASIFICACION	ESCALA	INDICADOR
Precio Promedio Ponderado	Se ponderan los precios por volúmenes de negociación en cada una de las rondas de cada día.	$PPP = \frac{\sum_{I=1}^N V_I P_I}{N \sum_{I=1}^N V_I}$	Cuantitativa intervalar	Números reales	Número > 0
Dispersión: Varianza	Expresa el segundo momento matemático dispersión.	$VAR = \frac{\sum_{I=1}^N (\Delta PPP - \overline{\Delta PPP})^2}{N - 1}$	Cuantitativa intervalar	Números reales	Número > 0
Dispersión; desviación estándar	Expresa la dispersión linealmente.	$desv\ est = \sqrt{\frac{\sum_{I=1}^N (\Delta PPP - \overline{\Delta PPP})^2}{N - 1}}$	Cuantitativa intervalar	Números reales	N > 0
Tercer momento	Expresa la asimetría con respecto a la media.	$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\sigma^3}$	Cuantitativa intervalar	Números reales	Números reales
Cuarto momento curtosis	Marca el grosor de los extremos de la distribución.	$\beta_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4}$	Cuantitativa intervalar	Números reales	Números reales
Rentabilidad del portafolio	Sumatoria del porcentaje de inversión por la	$Rentab = \sum_{I=1}^N A_I * \Delta PPP_I$	Cuantitativa intervalar	Números reales	Números reales

Variación del precio	<p>variación del precio.</p> <p>Determina la variación del precio entre el periodo actual y el periodo anterior.</p>	$\Delta ppp = \ln\left(\frac{ppp_T}{ppp_{T-1}}\right)$	Cuantitativa intervalar	Números reales	Números reales
Varianza del portafolio	Determina la varianza del portafolio con base en la matriz de varianza covarianza.	$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_A \cdot X_B \cdot \sigma_{AB}$	Cuantitativa intervalar	Números reales	Números reales
<b>VARIABLE</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>ESCALA</b>	<b>INDICADOR</b>
Coeficiente de variación	Permite comparar la relación riesgo sobre rentabilidad de cada acción.	$CV = \frac{\sigma}{\mu} \cdot 100\%$	Cuantitativa intervalar	Números reales	Números reales
Perfil del inversionista	Características de una persona que orienta la toma de decisiones relacionadas a una inversión.	Cuestionario Perfil del Inversionista	Cualitativa Ordinal	Conservador Moderado Agresivo	Rango de Escala

Fuente: Construcción propia

Tabla 5  
Precio Promedio Ponderado

<b>PRECIO PROMEDIO PONDERADO</b>					
<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA VARIABLE: Valor promedio de la acción</b>	<b>DEFINICIÓN OPERATIVA DE LA VARIABLE:</b> Valor Promedio de una acción				
<b>TABLA</b>	<b>Acción Detalle – BVC</b>				
<b>PRECIO PROMEDIO PONDERADO</b>	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>CAMPO:</b></td> <td style="width: 50%;"><b>Cálculo</b></td> </tr> <tr> <td><b>Precio de Cierre</b></td> <td><math display="block">PPP = \frac{\sum_{I=1}^N V_I P_I}{N \sum_{I=1}^N V_I}</math></td> </tr> </table>	<b>CAMPO:</b>	<b>Cálculo</b>	<b>Precio de Cierre</b>	$PPP = \frac{\sum_{I=1}^N V_I P_I}{N \sum_{I=1}^N V_I}$
<b>CAMPO:</b>	<b>Cálculo</b>				
<b>Precio de Cierre</b>	$PPP = \frac{\sum_{I=1}^N V_I P_I}{N \sum_{I=1}^N V_I}$				

Fuente: Construcción propia

Tabla 6  
Dispersión-Varianza

<b>DISPERSIÓN - VARIANZA</b>					
<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA VARIABLE: mide el grado de dispersión de los datos en relación a una media elevados al cuadrado (Agrupados o Desagrupados)</b>	<b>DEFINICIÓN OPERATIVA DE LA VARIABLE:</b> Grado de Dispersión de los precios frente a su media.				
<b>TABLA</b>	<b>Acción Detalle - BVC</b> <b>Resultado PPP (Precio promedio ponderado)</b>				
<b>VARIANZA</b>	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>CAMPO:</b></td> <td style="width: 50%;"><b>Cálculo</b></td> </tr> <tr> <td><b>Precio de Cierre</b></td> <td><math display="block">VAR = \frac{\sum_{I=1}^N (\Delta PPP - \overline{\Delta PPP})^2}{N - 1}</math></td> </tr> </table>	<b>CAMPO:</b>	<b>Cálculo</b>	<b>Precio de Cierre</b>	$VAR = \frac{\sum_{I=1}^N (\Delta PPP - \overline{\Delta PPP})^2}{N - 1}$
<b>CAMPO:</b>	<b>Cálculo</b>				
<b>Precio de Cierre</b>	$VAR = \frac{\sum_{I=1}^N (\Delta PPP - \overline{\Delta PPP})^2}{N - 1}$				

Fuente: Construcción propia

Tabla 7  
*Dispersión-Desviación Estándar*

<b>DISPERSIÓN - DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>			
<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA VARIABLE:</b> mide el grado de dispersión de los datos en relación a una media (Agrupados o Desagrupados)	<b>DEFINICIÓN OPERATIVA DE LA VARIABLE:</b> Grado de riesgo calculado a partir de la rentabilidad de las acciones.		
<b>TABLA</b>	<b>Acción Detalle - BVC</b> <b>Resultado PPP (Precio promedio ponderado)</b>		
	<b>CAMPO</b> <b>Cálculo</b>		
<b>DESVIACIÓN ESTANDAR</b>	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%; vertical-align: top;"><b>Precio de Cierre</b></td> <td style="vertical-align: top;"><math display="block">desv\ est = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta PPP - \overline{\Delta PPP})^2}{N - 1}}</math></td> </tr> </table>	<b>Precio de Cierre</b>	$desv\ est = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta PPP - \overline{\Delta PPP})^2}{N - 1}}$
<b>Precio de Cierre</b>	$desv\ est = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta PPP - \overline{\Delta PPP})^2}{N - 1}}$		

Fuente: Construcción propia

Tabla 8  
*Rentabilidad del portafolio*

<b>RENTABILIDAD DEL PORTAFOLIO</b>			
<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA VARIABLE:</b> mide el beneficio que se obtiene por determinada inversión.	<b>DEFINICIÓN OPERATIVA DE LA VARIABLE:</b> El exceso generado por la inversión.		
<b>TABLA</b>	<b>Acción Detalle - BVC</b>		
	<b>CAMPO:</b> <b>Cálculo</b>		
<b>RENTABILIDAD</b>	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%; vertical-align: top;"><b>Precio de Cierre</b></td> <td style="vertical-align: top;"><math display="block">\sum_I^N A_I * \Delta PPP_I</math></td> </tr> </table>	<b>Precio de Cierre</b>	$\sum_I^N A_I * \Delta PPP_I$
<b>Precio de Cierre</b>	$\sum_I^N A_I * \Delta PPP_I$		

Fuente: Construcción propia



Tabla 9  
*Variación del precio*

<b>VARIACIÓN DEL PRECIO</b>		
<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA VARIABLE:</b> Determina la variación del precio entre el periodo actual y el periodo anterior	<b>DEFINICIÓN OPERATIVA DE LA VARIABLE:</b> Mide el cambio o diferencia entre dos precios de la misma acción.	
<b>TABLA</b>	<b>Acción Detalle - BVC</b>	
<b>VARIACIÓN DEL PRECIO</b>	<b>CAMPO</b>  <b>Precio de Cierre</b>	<b>Cálculo</b>  $\Delta ppp = \ln \left( \frac{ppp_T}{PPP_{T-1}} \right)$

Fuente: Construcción propia

Tabla 10  
*Varianza del portafolio*

<b>VARIANZA DEL PORTAFOLIO</b>		
<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA VARIABLE:</b> riesgo que se asume por la inversión en un portafolio	<b>DEFINICIÓN OPERATIVA DE LA VARIABLE:</b> Determina la varianza del portafolio con base en la matriz de varianza covarianza	
<b>TABLA</b>	<b>Acción Detalle - BVC</b>	
<b>VARIACIÓN DEL PORTAFOLIO</b>	<b>CAMPO</b>  <b>Precio de Cierre</b>	<b>Cálculo</b>  $\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_A \cdot X_B \cdot \sigma_{AB}$

Fuente: Construcción propia

Tabla 11 *Variable perfil de riesgo del inversionista*

<b>VARIABLE PERFIL DE RIESGO DEL INVERSIONISTA</b>		
<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA VARIABLE:</b> Características de una persona que guían la manera en que debiera tomar sus decisiones de inversión, incluido su nivel de tolerancia al riesgo	<b>DEFINICIÓN OPERATIVA DE LA VARIABLE:</b> Característica de un inversionista con relación al nivel de riesgo que quiere asumir	
<b>CUESTIONARIO</b>	<b>PREGUNTA</b>	<b>No DE PREGUNTA</b>
	¿En cuál de los siguientes rangos de Edad se encuentra usted?	1
<b>Perfil inversionista</b>	¿Podría relacionar que porcentaje de su patrimonio representa lo que desea invertir?	2
	¿Cuál es el horizonte proyectado para la inversión a realizar?	3
<b>CUESTIONARIO</b>	<b>PREGUNTA</b>	<b>No DE PREGUNTA</b>
	¿En cuál de las siguientes opciones invertiría su dinero?	4
<b>Perfil inversionista</b>	¿Cómo definiría su participación con sus inversiones?	5
	¿En caso de factibles desvalorizaciones del portafolio producto de impacto negativo en el mercado financiero, que puedan conllevar a pérdidas de valor en su inversión, que preferiría?	6

Fuente: Construcción propia

### 3.6 Instrumentos para recolección de información.

Para la presente investigación emplearemos como mecanismo de recolección de información primaria, un cuestionario escrito para determinar el perfil del inversionista. Las preguntas definidas en el instrumento son de escala Ordinal-Politómica, ya que, quien diligenciara dicho cuestionario contara con más de dos opciones ordenadas (de Mayor a menor o viceversa, por nivel de riesgo y por nivel de conocimiento).

#### 3.6.1 Tabla de Recopilación.

Tabla 12  
*Recopilación Maestra Transacción de Acciones*

<b>Maestra Transacción de Acciones</b>			
<b>Campo Clave</b>	<b>Unidad Medida</b>	<b>Origen de la información del campo clave</b>	<b>Nombre del Campo de Origen</b>
Nombre de la acción	N/A	Columna B (archivo Excel)	Nemotecnico
Fecha	N/A	Columna C (archivo Excel)	Fecha
Cantidad Transada	Números Reales	Columna D (archivo Excel)	Cantidad
Volumen Transado	Números Reales	Columna E (archivo Excel)	Volumen
<b>Campo Clave</b>	<b>Unidad Medida</b>	<b>Origen de la información del campo clave</b>	<b>Nombre del Campo de Origen</b>
Precio Acción	Números Reales	Columna F	Precio Cierre

Fuente: Construcción propia (Bolsa de Valores de Colombia, s, f)

### 3.6.2 Cuestionario Perfil del Inversionista.

1. En cuál de los siguientes rangos de Edad se encuentra usted.
  - A. 40 años o menos
  - B. Entre el rango 40 y 50 años.
  - C. Supera 50 años
  - D. Pensionado.
  
2. Podría relacionar que porcentaje de su patrimonio representa lo que desea invertir:
  - a. Superior al 50%
  - b. 40% y 50%
  - c. 30% y 40%
  - d. Entre 1% y 30%
  
3. Cuál es el horizonte proyectado para la inversión a realizar.
  - a. 5 años o mas
  - b. Entre 1 año y 3 años
  - c. 1 año
  - d. Menos de 1 año
  
4. En cuál de las siguientes opciones invertiría su dinero.
  - a. Divisas o derivados
  - b. Acciones Renta fija o Variable
  - c. Fondos de inversión colectiva (fiducias)
  - d. CDT's Y/o cuentas de ahorro.
  
5. Describa cual es el objetivo principal del portafolio de inversión:
  - a. Valorización teniendo en cuenta el riesgo.
  - b. Preservar el Capital y Valorización estable.

- c. Preservar el Capital.
6. Relacione que significa para usted el termino riesgo:
- a. Oportunidad.
  - b. Inestabilidad.
  - c. Incertidumbre.
7. Indique de las siguientes opciones de activos en los cuales ha invertido:
- a. Inversiones de Renta Variable y con un mayor nivel riesgo de perdidas (Acciones, Derivados).
  - b. inversiones en renta Fija y con un bajo nivel riesgo de perdidas (Fiducias, Letras del tesoro, bonos del estado).
  - c. Depósitos a término fijo (CDT's).
  - d. Cuentas de Ahorro.
8. Cómo definiría su participación con sus inversiones:
- a. Experto – soy inversionista con vasta experiencia teniendo en cuenta los riesgos existentes en el mercado.
  - b. Moderada puesto que cuento con una pequeña experiencia, sin embargo deseo contar con asesoría.
  - c. limitada dado que no cuento con demasiado trayectoria en inversiones.
9. En caso de factibles desvalorizaciones del portafolio producto de impacto negativo en el mercado financiero, que puedan con llevar a pérdidas de valor en su inversión preferiría:
- a. Preservar la inversión estableciendo un límite de pérdida relacionada al progreso del mercado.
  - b. Liquidar o cancelar parcialmente la inversión, asumiendo perdidas en el corto plazo.

c. Realizar la cancelación de su portafolio y evitar pérdidas.

10. Relacione que decisión tomaría en el presente ejemplo. Suponga que realizó una inversión inicial de 200.000 y este por efectos positivos del mercado aumento en el tiempo hasta 250.000, sin embargo, dicha inversión actualmente se contrajo hasta 215.000. ¿Qué haría?

- Aumentaría el monto invertido.
- Evaluaría la inversión, sin embargo, no tomaría ninguna decisión.
- Liquidaría parcialmente la inversión, transfiriendo los fondos ha activos de menor riesgo.
- Cancelaría la inversión realizada.

### 3.6.3 Tabla de Calificaciones.

La escala de calificación se encuentra determinada por el rango más pequeño seria 0 y el mayor 4.

Tabla 13  
*Calificación Perfil del inversionista*

Pregunta	Opción de Respuesta			
	A	B	C	D
1	4	3	2	1
2	4	3	2	1
3	4	3	2	1
4	4	3	2	1
5	4	3	2	0
6	4	3	2	0
7	4	3	2	1
8	4	3	2	0
9	4	3	2	0
10	4	3	2	1

Fuente: Construcción propia

### 3.6.4 Rangos de Clasificación.

Conservador si la calificación se encuentra entre (1-13).

Moderado si la calificación se encuentra entre (14 – 27).

Agresivo si la calificación se encuentra entre (> 28).

### 3.6.5 Confiabilidad del Instrumento.

Para el cuestionario empleado en la presente investigación, se realizó la aplicación de una prueba piloto a una muestra de n=30, en la que se verificó la confiabilidad del instrumento a través del Alfa de Cronbach.

$$\alpha = \frac{k}{1 - k} * \left( 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right)$$

K= Número de Elementos (Preguntas).

$S_i^2$ = Varianza de los ítems.

$S_T^2$ = Varianza de la Suma de los ítems.

Coeficiente alfa >.9 es excelente
Coeficiente alfa >.8 es bueno
Coeficiente alfa >.7 es aceptable
Coeficiente alfa >.6 es cuestionable
Coeficiente alfa >.5 es pobre
Coeficiente alfa <.5 es inaceptable

*Ilustración 4* Coeficiente alfa. Frias-Navarro, 2006

A continuación, relacionamos los resultados de la prueba piloto aplicada a través del cuestionario Perfil del Inversionista.

Tabla 14  
*Prueba Piloto*

$\sum S_i^2$	7,224444
$S_T^2$	21,02667
K	10
$\alpha$	<b>0,72935</b>
<b>Confiabilidad</b>	<b>Aceptable</b>

### 3.7 Procesamiento de la información.

Para el presente trabajo de investigación se efectuará el análisis de la información a través de variables cuantitativas, las cuales serán procesadas a través de técnicas estadísticas univaridas, dado que se emplearán para el análisis de los datos medidas de tendencia central (Media, Mediana, Moda) y medidas de dispersión (Desviación Estándar, Varianza).

Cabe destacar que, dentro del planteamiento del modelo de optimización será tenido en cuenta el análisis de datos a través de técnicas bivariadas por medio covarianzas, puesto que, en la función objetivo de minimización de riesgo esta se contempla.

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_A \cdot X_B \cdot \sigma_{AB}$$

*Ilustración 5 Covarianza*

Por otro lado, para facilidad de comprensión de los datos se emplearán gráficos tales como barras y gráficos de dispersión, en los cuales se constatarán los comportamientos de los mismos. Los gráficos de Barras permitirán evaluar el comportamiento de las medidas de tendencia central y la distribución de los datos en relación a su media, así mismo, el gráfico de dispersión será empleado para graficar la barrera eficiente de los rendimientos del portafolio de inversión creado a través de la aplicación del modelo.



#### 4. CAPITULO IV: DIAGNÓSTICO OBTENIDO

Para la creación de portafolios de inversión se cuenta con el complemento Solver del aplicativo Excel para hogares y empresas versión 2016, complemento que utiliza la metodología Simplex, que permite desarrollar problemas de optimización estableciendo un objetivo que está sujeto a unas restricciones.

En el presente trabajo fue planteado una ecuación lineal cuyo objetivo es minimizar el riesgo del portafolio de la siguiente manera:

Tabla 15  
Valores

<b>Valores</b>						
	<b>x1</b>	<b>x2</b>	<b>x3</b>	<b>x4</b>	<b>x5</b>	<b>x6</b>
<b>Inversión</b>	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
	<b>VPFB</b>	<b>VBCO</b>	<b>VECO</b>	<b>VGRAR</b>	<b>VISA</b>	<b>VNUT</b>
<b>Rentabilidad</b>	0.0596%	0.0769%	0.1462%	0.0201%	0.1013%	0.0052%
	<b>VVPFB</b>	<b>VVBCO</b>	<b>VVECO</b>	<b>VVGRAR</b>	<b>VVISA</b>	<b>VVNUT</b>
<b>Volatilidad</b>	1.1233%	1.1434%	1.5586%	1.1639%	0.9504%	0.7486%
<b>Función Objetivo</b>	0.75%					

$$\text{Función objetivo} = VVPFB * x1 + VVBCO * x2 + VVECO * x3 + \dots + VVNUT * x6$$

Restricciones:

- Rentabilidad

$$\text{Rentabilidad} = VPFB * x1 + VBCO * x2 + VECO * x3 + \dots + VNUT * x6 \geq 0$$

- Porcentajes de inversión

$$x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 = 100\%$$

- Porcentaje de inversión para cada acción

$$xi \geq 0$$

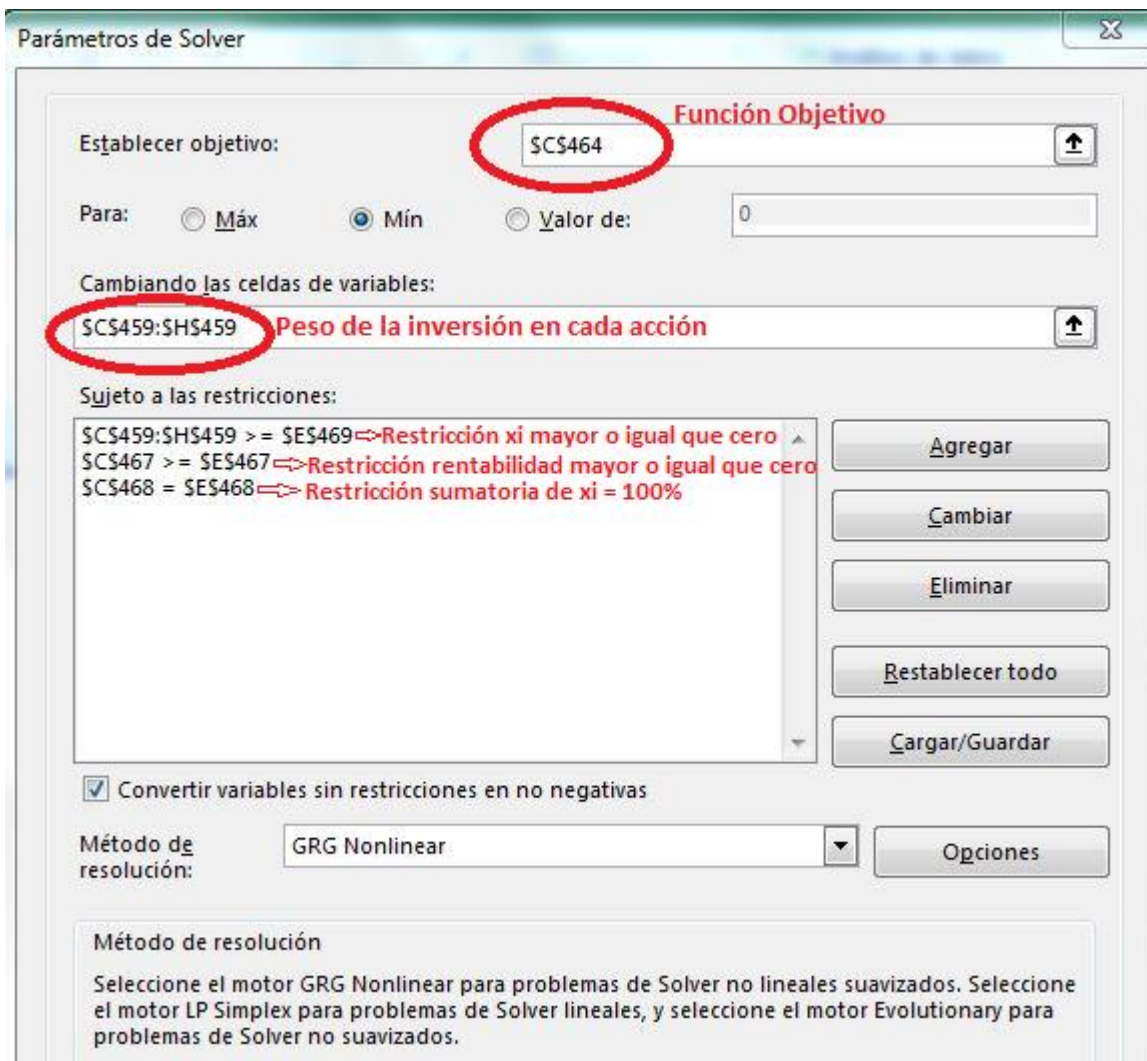


Ilustración 6 Parámetros de Solver

Resultado:

Función	
Objetivo	0.75%

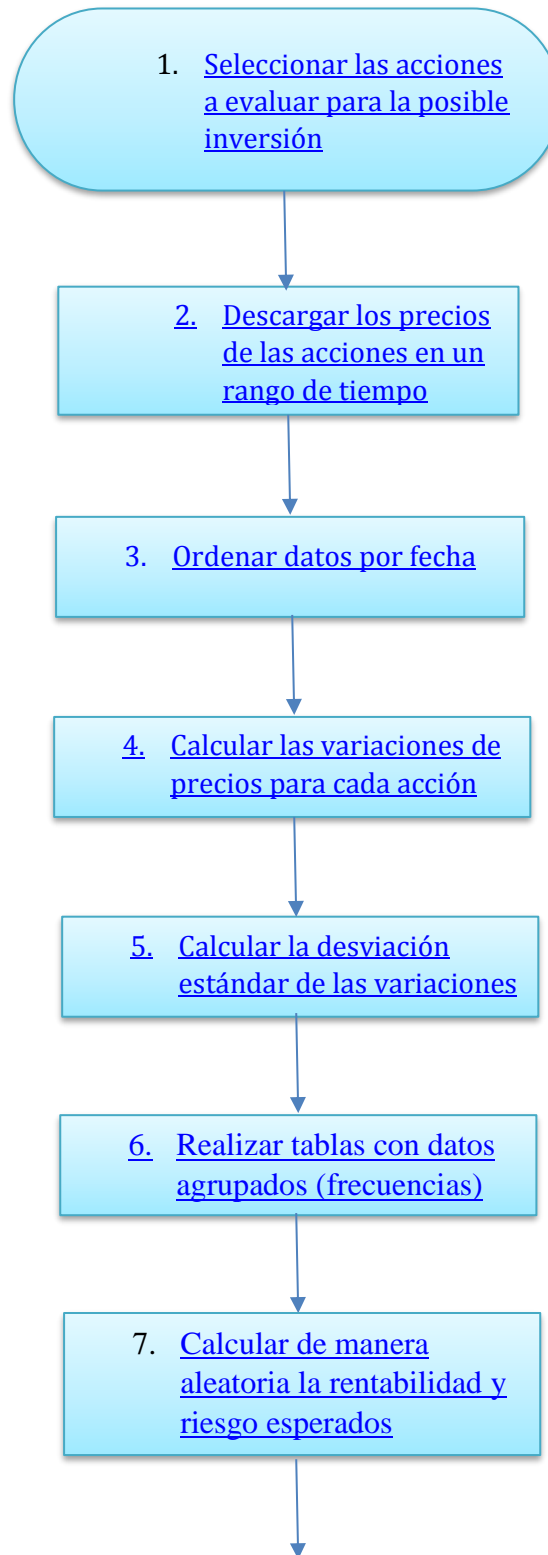
Riesgo del portafolio = 0.75% diario

<b>Rentabilidad</b>	<b>0.005%</b>	<b>&gt;=</b>	<b>0.00%</b>
	100.000%	=	100.00%
	Xi	>=	0

Rentabilidad = 0.005% diario

## 5. CAPITULO : PROPUESTA

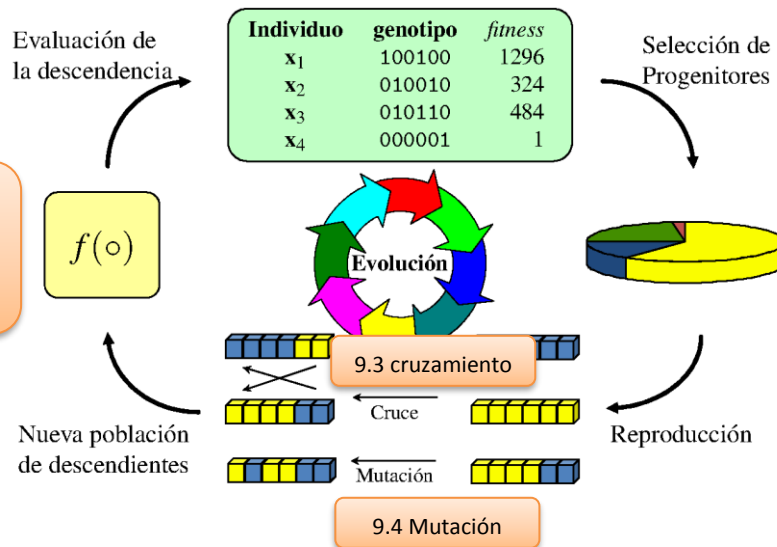
- Diagrama de flujo (Paso a paso)



8. Calcular la varianza, el coeficiente de variación, riesgo inverso.

9. Aplicar el algoritmo genético

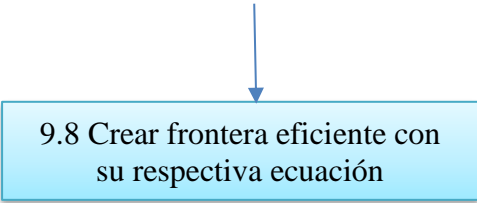
9.6 Hallar diferentes escenarios posibles de inversión



9.5 Hallar la rentabilidad, varianza, riesgo, inversión<sup>2</sup> para cada acción del portafolio mutado y así calcular la rentabilidad, la varianza y el riesgo para el portafolio

9.6 Crear tabla de datos con escenarios posibles de inversión (pesos) y resultados de rentabilidad y riesgo

9.7 Graficar el riesgo y la rentabilidad derivada de los escenarios resultantes.



9.8 Crear frontera eficiente con su respectiva ecuación

*Ilustración 7* Diagrama de flujo paso a paso

Descripción de las actividades:

Seleccionar las acciones a evaluar para la posible inversión:

Se revisa el índice COLCAP para determinar las acciones más representativas del mismo, eligiendo las acciones con mayor participación porcentual, resultado derivado de las transacciones de los títulos.

Para la elección de las acciones se realiza un Pareto con el fin de seleccionar las acciones, para este trabajo de investigación se seleccionan 6 acciones con una participación porcentual acumulada de 51.66%.

Tabla 16  
*Acciones Índice COLCAP (Feb - Abr 2018)*

CANASTA 41	
Feb. - Abr. 2018	
NEMOTÉCNICO	PARTICIPACIÓN
PFBCOLOM	13.875%
ECOPETROL	12.583%
GRUPOSURA	7.581%
BCOLOMBIA	7.098%
ISA	6.330%
NUTRESA	6.220%
GRUPOARGOS	5.559%
PFAVAL	4.912%
CEMARGOS	4.278%
EEB	4.066%
PFGRUPSURA	3.983%
PFGRUPOARG	3.510%
EXITO	3.313%
PFDAVVNDA	2.914%
BOGOTA	2.491%
CORFICOLCF	2.211%
PFCEMARGOS	1.921%
CELSIA	1.694%
CLH	1.681%
PROMIGAS	1.212%

PFAVH	0.939%
GRUPOAVAL	0.616%
CNEC	0.559%
CONCRET	0.290%
ETB	0.165%

Obtenido de: Bolsa de Valores (Acciones Índice COLCAP (Feb - Abr 2018))

Tabla 17  
Acciones Seleccionadas

NEMOTÉCNICO PARTICIPACIÓN		% PARTICIPACIÓN ACUMULADA
PFBCOLOM	13.875%	13.875%
ECOPETROL	12.583%	26.458%
GRUPOSURA	7.581%	34.039%
BCOLOMBIA	7.098%	41.137%
ISA	6.330%	47.466%
NUTRESA	6.220%	53.687%
GRUPOARGOS	5.559%	59.245%
		51.664%

Fuente: Construcción propia

Descargar los precios de las acciones en un rango de tiempo

Se descargan los precios de las acciones preseleccionadas en un rango de fechas definidas, es importante tener una cantidad de datos importante para evitar el sesgo y posibles análisis equivocados, para nuestro ejercicio corresponde a los datos de 448 días bursátil (desde 07 de junio 2016 a 06 de abril de 2018) (Bolsa de Valores de Colombia.(s, f).

The screenshot shows the 'Acción ECOPETROL' page on the Bolsa de Valores de Colombia website. At the top, there are tabs for 'Indices', 'Renta Variable', 'Derivados', 'Renta Fija', and 'Divisas'. Below these, there is a search area with 'Tipo de operación' set to 'Acciones Compraventas', 'Fecha de negociación' set to '26/09/2018', and 'Consultar otra acción' set to 'ECOPETROL'. A 'Buscar' button is present.

The main section is titled 'Acción ECOPETROL' and indicates 'Mercado Cerrado' and 'Información con 15 minutos de retraso'. There are tabs for 'Diaria' and 'Histórica'. Below this, a note states 'Corresponde a información de operaciones de compraventa'.

A table titled 'Resumen del mercado - Compraventas' shows the following data for ECOPETROL on 2018-09-26 at 14:59:

Hora	Nombre	Cantidad	Volumen	Precio Cierre	Precio Cierre Anterior	Precio Mayor	Precio Medio	Precio Menor	Variación %	Variación Absoluta
2018-09-26 14:59	ECOPETROL	13.196.514,00	51.901.464.620,00	3.925,00	3.930,00	3.985,00	3.932,97	3.870,00	-0,13%	-5,00

Below the table, there is a 'Descargar Historico desde' field with a calendar icon, followed by 'Hasta' and another calendar icon. A red box highlights the 'Desde' field, and another red box highlights the 'Hasta' field. A red arrow points to the text 'Seleccionar las fechas' below these fields. A 'Descargar' button is also visible.

At the bottom, there are links for 'Operaciones de Compraventa', 'Características de la Acción', and 'Información del Emisor', each with a 'Ver detalles' link.

Ilustración 8 Interfaz para Descargar Serie de Precios

Ordenar datos por fecha:

Se ordenan por fecha los precios de las acciones seleccionadas

Tabla 18

*Precios por fechas de las acciones seleccionadas*

FECHA	PFBCOLOM	BCOLOMBIA	ECOPETROL	GRUPOARGOS	ISA	NUTRESA
2016/06/07	25,200.000	23,460.000	1,420.000	18,100.000	8,890.000	25,680.000
2016/06/08	25,980.000	24,040.000	1,450.000	18,700.000	8,850.000	25,700.000
2016/06/09	25,900.000	24,060.000	1,450.000	18,600.000	8,860.000	25,640.000
2016/06/10	25,440.000	23,700.000	1,410.000	18,340.000	8,830.000	25,500.000
2016/06/13	25,300.000	23,520.000	1,400.000	18,280.000	8,800.000	25,440.000
2016/06/14	25,140.000	23,200.000	1,395.000	18,160.000	8,720.000	24,940.000
2016/06/15	25,280.000	23,300.000	1,395.000	18,060.000	8,680.000	25,080.000
2016/06/16	25,400.000	23,600.000	1,395.000	18,100.000	8,640.000	25,100.000
2016/06/17	25,520.000	23,980.000	1,415.000	17,900.000	8,610.000	25,100.000
2016/06/20	25,700.000	23,920.000	1,420.000	18,200.000	8,720.000	25,060.000

Fuente: Construcción propia

Calcular las variaciones de precios para cada acción:

Se calcula para cada acción la variación continua entre cada día para determinar la rentabilidad diaria, en el documento excel VARIACIONES DE PRECIOS (RENTABILIDAD)

$$\Delta ppp = \ln\left(\frac{ppp_T}{PPP_{T-1}}\right)$$

Calcular la desviación estándar de las variaciones:

Se calcula para cada acción la volatilidad (riesgo) de las variaciones de los precios de las acciones, variación que se halló en el paso anterior

$$desv\ est = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta PPP - \overline{\Delta PPP})^2}{N - 1}}$$

Realizar tabla con datos agrupados (frecuencias):

Se crean las tablas con distribución de frecuencias personalizadas y sus respectivos histogramas de frecuencia, una para las variaciones de los precios (rentabilidad) y otra para los datos resultantes de la desviación estándar de las variaciones (volatilidad de los precios - riesgo).

Tabla 19  
Tabla de frecuencias por acción

<b>MAXIMO</b>	2.55%
<b>MÍNIMO</b>	-1.88%
Ancho intervalos	0.44%
No Intervalos	10

Lim inf	Lim super	frec Abs	Frec Relat	Frec Acumu	Acum Inf	Acum sup	Ubicación
-1.88%	-1.44%	34	7.61%	7.61%	0.00%	7.61%	
-1.44%	-0.99%	38	8.50%	16.11%	7.61%	16.11%	8.50%
-0.99%	-0.55%	51	11.41%	27.52%	16.11%	27.52%	
-0.55%	-0.11%	60	13.42%	40.94%	27.52%	40.94%	
-0.11%	0.33%	93	20.81%	61.74%	40.94%	61.74%	
0.33%	0.78%	67	14.99%	76.73%	61.74%	76.73%	
0.78%	1.22%	54	12.08%	88.81%	76.73%	88.81%	
1.22%	1.66%	22	4.92%	93.74%	88.81%	93.74%	
1.66%	2.11%	12	2.68%	96.42%	93.74%	96.42%	
2.11%	2.55%	16	3.58%	100.00%	96.42%	100.00%	

Fuente: Construcción propia

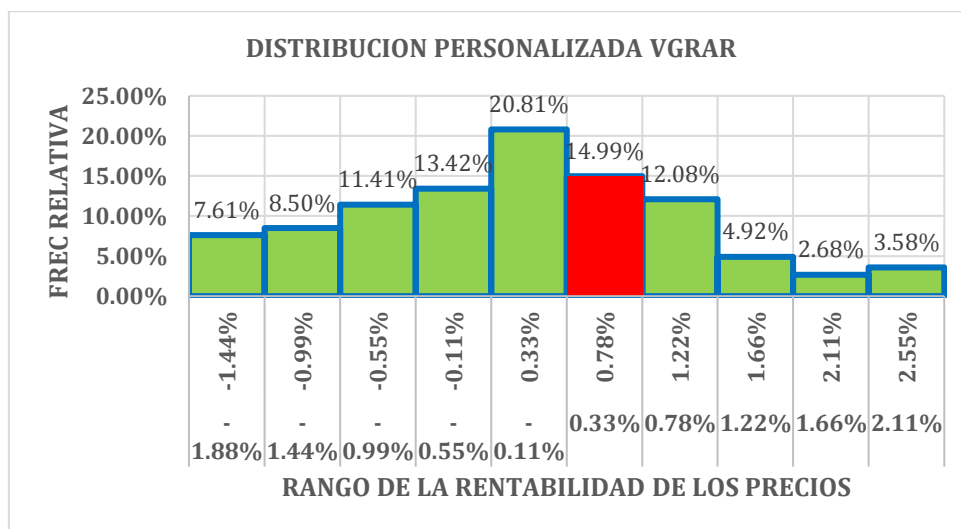


Ilustración 9 Distribución Personalizada VGRAR

Fuente construcción propia

Calcular de manera aleatoria la rentabilidad y riesgo esperados: ubicando los resultados en el histograma de cada variable.

Se calcula de manera aleatoria la rentabilidad esperada (variación en los precios), aleatorio 2 del histograma variaciones de los precios en documento Excel.



$$\text{Rentab} = \sum_{t=1}^N A_t * \Delta PPP_t$$

Se calcula de manera aleatoria el riesgo esperado, correspondiente a la volatilidad (desviación estándar de las variaciones de los precios), aleatorio 2 del histograma volatilidad en documento de Excel.

aleatorio	84.9743%
lim inf	1.1000%
lim sup	1.6200%
aleatorio2	1.3739%
PROB ACUM	90.1566%

Calcular la varianza, el coeficiente de variación, riesgo inverso.

Se realiza el cálculo de la varianza para evaluar que tan dispersos están los datos respecto a la rentabilidad esperada.

$$VAR = \frac{\sum_{t=1}^N (\Delta PPP_t - \overline{\Delta PPP})^2}{N - 1}$$

Se establece el coeficiente de variación con el fin de comparar la relación riesgo sobre rentabilidad de cada acción.

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \cdot 100\%$$

Entre mayor sea el coeficiente de variación, mayor nivel de riesgo tiene la acción.

Se halla el inverso del riesgo con el objetivo de poder establecer la maximización de este inverso, lo que indica que entre mayor sea el inverso, menor es el riesgo de la acción.

$$\text{Inverso riesgo} = \frac{1}{\sigma}$$

Se aplica heurística de asignación de pesos de acuerdo al inverso del riesgo:

Se suman los inversos de riesgo de las acciones, se establece la participación porcentual proporcionalmente a 100% y se numeran las acciones con base en el riesgo inverso de mayor a menor

Tabla 20 Portafolio - Peso de inversión inicial para cada acción

	ACCIONES					
	GRUPOARGOS	NUTRESA	ISA	PFBCOLOM	ECOPETROL	BCOLOMBIA
ESTADISTICA RENTABILIDAD ESPERADA	WGRAR	WNUT	WISA	WPFB	WECO	WBCO
	0.8471%	-0.5151%	0.8390%	3.0982%	0.8792%	-2.3541%



ISA	20.88652818	ISA	3	PFBCOLOM	16.7470226		001000
				GRUPOARGO	7	17	1
PFBCOLOM	16.74702267	PFBCOLOM	4	S	16.2748414		001000
					8	16	0
ECOPETROL	12.20135165	ECOPETROL	5	ECOPETROL	12.2013516		000110
					5	12	0
BCOLOMBIA	10.24777278	BCOLOMBIA	6	BCOLOMBIA	10.2477727		000101
					8	10	0
	100					100	

Fuente: Construcción propia

## 9.2 Crear el cromosoma (portafolio) madre

- Cromosoma Madre – Individuo 2

Se crea el individuo en orden ascendente de las acciones de acuerdo al peso de la inversión para cada acción y se convierte el número peso al número binario de siete posiciones, teniendo en cuenta que el 100 es de siete posiciones.

Tabla 22

*Portafolio cromosoma madre - peso inversiones*

INDIVIDUO 2 CROMOSOMA 2 MADRE				
ACCION		INVERSION	BIN	SELECCIÓN ENTRE INVERSIONES PORT 1 Y 2
ECOPETROL	12.0373904	12	0001100	0010111
BCOLOMBIA	14.2428959	14	0001110	0010011
PFBCOLOM	14.7959892	15	0001111	0010000
GRUPOARGOS	16.4582496	16	0010000	0010000
ISA	19.138197	19	0010011	0010011
NUTRESA	23.3272779	23	0010111	0010111
TOTAL	100			

Fuente: Construcción propia

Se comparan las parejas de acciones del individuo 1 vs individuo 2 y se selecciona el binario del número mayor, de los dos quedaran duplicados los mejores de cada pareja excepto el non que queda igual)

## 9.3 Realizar cruzamiento entre los portafolios de padre y madre

- Se toma el cromosoma padre organizado descendientemente según los pesos y se convierten a binario
- Se forma el cromosoma madre con las acciones en forma aleatoria y sus respectivos números binarios

- Se elige un número aleatorio entre 1 y 6 (uno menos de los dígitos binarios) y el número aleatorio dirá cuántos dígitos binarios serán puestos por el padre y el resto por la madre, se seleccionan hasta 6 para que quede por lo menos un dígito perteneciente de la madre.
- Se crea el nuevo individuo a partir del cruzamiento de la población de los individuos padre y madre.
- Se convierten los nuevos números binarios en números decimales y se convierten a la escala de 100

Tabla 23  
Cruzamiento individuo 1 e individuo 2

CRUZAMIENTO							
INDIVIDUO 1 (PADRE)		INDIVIDUO 2		BINARIOS PADRE	POBLACION CRUZADA	VALOR DECIMAL	ESCALA 100
NUTRESA	0011000	ECOPETROL	0001011	2	0001011	11	0.10185185
PFBCOLOM	0010011	NUTRESA	0011000	5	0010000	16	0.14814815
ISA	0010010	PFBCOLOM	0010011	4	0010011	19	0.17592593
GRUPOARGOS	0010010	ISA	0010010	2	0010010	18	0.16666667
BCOLOMBIA	0010011	GRUPOARGOS	0010000	1	0010000	16	0.14814815
ECOPETROL	0011000	BCOLOMBIA	0001100	4	0011100	28	0.25925926

Fuente: Construcción propia

- Se reemplaza en la función objetivo los números binarios convertidos en escala de 100
- Se calcula la rentabilidad y el riesgo en el portafolio, este es un primer resultado.

RENTABILIDAD	-67.9704%
VARIANZA	23.1951%
RIESGO	48.1613%

#### 9.4 Realizar mutación al portafolio creado utilizando el algoritmo de vecindad

- Se realiza una selección aleatoria entre los números expresados en sistema binario y se reemplaza en uno de ellos, el último cero por un uno, si el número seleccionado termina en 1, se elige otro número.
- Se convierten los números binarios a valores decimales y se transforman en la escala de 100
- Se reemplazan los valores convertidos en la escala de 100 en la función objetivo de minimizar el riesgo
- Se calcula la rentabilidad y el riesgo en el portafolio, este es el segundo resultado.
- Se reserva el mejor resultado obtenido en la función objetivo.

Tabla 24  
Mutación portafolio creado

MUTACION						
INDIVIDUO 1				CAMBIO DE 0 POR 1 ULTIMO GEN	VALOR DECIMAL	ESCALA 100
NUTRESA	0011011	VERDADERO		0011011	27	20.3%
			Acción a			
ISA	0011000	FALSO	Mutar	0011001	25	18.8%
GRUPOARGOS	0010010	VERDADERO		0010010	18	13.5%
PFBCOLOM	0010000	VERDADERO		0010000	16	12.0%
ECOPETROL	0010000	VERDADERO		0010000	16	12.0%
BCOLOMBIA	0011111	VERDADERO		0011111	31	23.3%

Fuente: Construcción propia

Tabla 25  
Portafolio que no requiere mutación

MUTACION						
INDIVIDUO 1				CAMBIO DE 0 POR 1 ULTIMO GEN	VALOR DECIMAL	ESCALA 100
NUTRESA	0001011	VERDADERO		0001011	11	9.6%
ISA	0011001	VERDADERO	No se	0011001	25	21.9%
GRUPOARGOS	0010001	VERDADERO	deben	0010001	17	14.9%
PFBCOLOM	0010001	VERDADERO	Mutar las	0010001	17	14.9%
ECOPETROL	0010001	VERDADERO	Acciones	0010001	17	14.9%
BCOLOMBIA	0011011	VERDADERO		0011011	27	23.7%

Fuente: Construcción propia

9.5 Hallar la rentabilidad, varianza, riesgo, inversión<sup>2</sup> para cada acción del portafolio mutado y así calcular la rentabilidad, la varianza y el riesgo para el portafolio.

Tabla 26  
Ponderación de inversión Portafolio 1

PONDERACION DE LA INVERSION					
ACCION I	INVERSION I	RENTABILIDAD	VARIANZA	RIESGO	INVERSION <sup>2</sup>
NUTRESA	20.30%	-0.0029%	0.0052%	0.7240%	0.041212053
ISA	18.80%	1.3898%	0.0090%	0.9481%	0.035332693
GRUPOARGOS	13.53%	0.5759%	0.0114%	1.0684%	0.018316468
PFBCOLOM	12.03%	3.7536%	0.0124%	1.1125%	0.014472271
ECOPETROL	12.03%	2.5933%	0.0143%	1.1968%	0.014472271
BCOLOMBIA	23.31%	-0.0235%	0.0237%	1.5401%	0.054327548
TOTAL	1				

PORTAFOLIO

RENTABILIDAD	1.0967%
VARIANZA	0.0024%
RIESGO	0.4920%

Fuente: Construcción propia

Se repiten los pasos 2 (cruzamiento), 3 (reemplazo en la función objetivo) y 4 (mutación)

9.6 Crear una tabla de datos con diferentes escenarios posibles de participación de inversión en cada una de las acciones, y resultados de la rentabilidad y riesgo.

Tabla 27

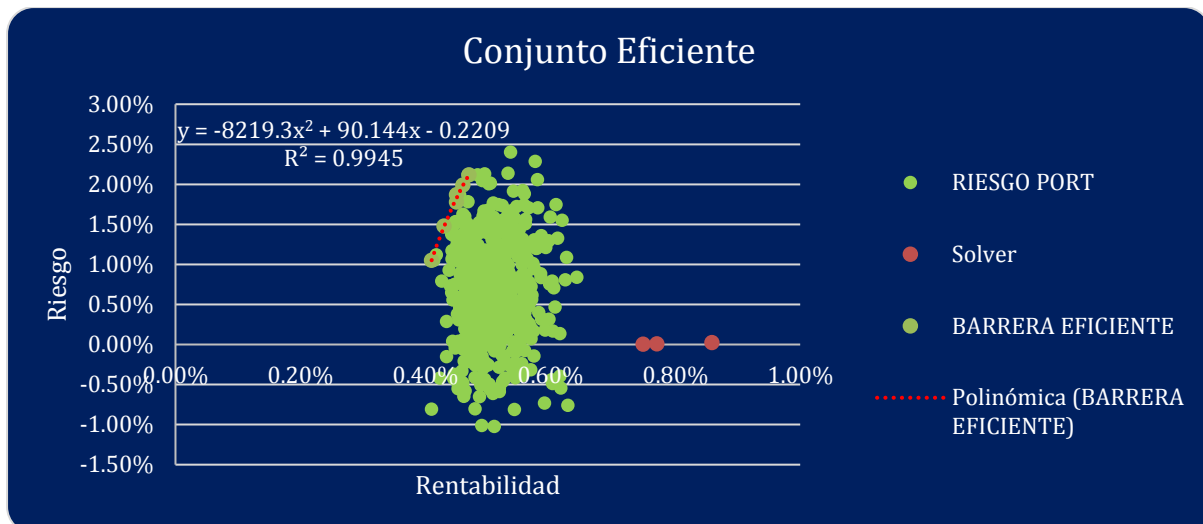
*Escenarios de Rentabilidad y Riesgo para diferentes pesos de inversión*

Tabla de Datos									
No. CROMOSOMAS	NUTRESA	ISA	PFBCOLOM	GRUPOARGOS	ECOPETROL	BCOLOMBIA	TOTALINVERSION	RENTABPORT	RIESGOPORT
1	20.61%	14.50%	19.85%	12.98%	12.21%	19.85%	100%	0.48%	0.50%
2	21.80%	16.54%	16.54%	12.78%	21.05%	11.28%	100%	0.94%	0.49%
3	24.32%	17.12%	15.32%	17.12%	9.91%	16.22%	100%	1.78%	0.48%
4	21.43%	12.70%	17.46%	13.49%	13.49%	21.43%	100%	0.14%	0.56%
5	10.78%	24.51%	16.67%	18.63%	12.75%	16.67%	100%	1.54%	0.53%
6	24.17%	23.33%	15.00%	14.17%	14.17%	9.17%	100%	0.42%	0.47%
7	9.40%	21.37%	15.38%	14.53%	25.64%	13.68%	100%	0.55%	0.58%
8	9.73%	16.81%	22.12%	15.93%	14.16%	21.24%	100%	1.08%	0.50%
9	22.14%	19.08%	12.21%	13.74%	14.50%	18.32%	100%	-0.13%	0.47%
10	10.78%	25.49%	17.65%	16.67%	12.75%	16.67%	100%	0.53%	0.50%

Fuente: Construcción propia

9.7 Graficar el riesgo y la rentabilidad derivada de los escenarios resultantes.

9.8 Crear frontera eficiente con su respectiva ecuación.



*Ilustración 11* Conjunto Eficiente

### 5.1 Validación del Modelo Desarrollado.

En el presente capítulo del documento presentaremos de manera resumida en el conjunto de validaciones realizadas al modelo desarrollado en el presente trabajo de grado, con el fin de corroborar su capacidad para brindar distintas posibilidades que permitan la creación de portafolios de inversión óptimos en la Bolsa de Valores de Colombia de acuerdo a los tipos de perfil de riesgo de los colombianos. Es importante mencionar que, las validaciones realizadas corresponden al intercambio de una acción o varias acciones con relación al conjunto de las acciones empleadas de manera inicial, llevando esto a la realización de la simulación de los datos con el modelo creado al igual que la ejecución de simulación del mismo conjunto de datos a través de la metaheurística SOLVER con el fin máximo de realizar una comparabilidad del campo de soluciones obtenidas.

Es importante destacar que, las modificaciones realizadas al conjunto de datos inicialmente empleando para el desarrollo del trabajo de grado, fue efectuado de manera gradual con el objetivo principal de evidenciar paulatinamente el cambio en las soluciones obtenidas. Así mismo, indicamos que la serie de datos empleada de los precios de las acciones que son las precursoras de la investigación corresponden a un intervalo de tiempo de 2 años bursátiles comprendido entre las fechas 07/06/2016 - 06/04/2018, equivaliendo a 448 datos. Sin embargo, para el desarrollo de las validaciones el conjunto de datos se encuentra comprendido entre las fechas 04/10/2017 - 05/09/2018 correspondiente a una serie de 222 Datos bursátiles, aplicando el modelo desarrollado Vs Metaheurística SOLVER.

Las acciones seleccionadas de manera inicial son:

<b>PFBCOLOM: Preferencial Bancolombia.</b>
<b>BCOLOMBIA: Bancolombia.</b>
<b>ECOPRETOL.</b>
<b>GRUPO ARGOS.</b>
<b>ISA: Isagen.</b>
<b>NUTRESA.</b>

A continuación, presentaremos los resultados obtenidos mediante las validaciones ejecutadas:

### 5.1.1 Validación Número 1.

Es de resaltar que para esta validación fue realizado el intercambio de la Acción Nutresa por la acción del Grupo Éxito.

PFBCOLOM: Preferencial Bancolombia.
BCOLOMBIA: Bancolombia.
ECOPRETOL.
GRUPO ARGOS.
ISA: Isagen.
<b>ÉXITO</b>

Tabla 28

*Soluciones Metaheurística SOLVER*

Soluciones Metaheurística SOLVER									
INVERSIÓN MINIMA	VPFB	VBCO	VECO	VGRAR	VISA	VEXI	RIESGO PORT	RENTAB PORT	
5%	5,00%	5,00%	8,88%	5,00%	71,12%	5,00%	1,25%	0,00%	
1%	1,00%	1,00%	6,69%	1,00%	89,31%	1,00%	1,15%	0,00%	
0%	0,00%	0,00%	6,14%	0,00%	93,86%	0,00%	1,13%	0,00%	

Tabla 29

*Mejores Soluciones Modelo Desarrollado*

Mejores Soluciones Modelo Desarrollado										
No. CROMOSOMAS	ÉXI	ISA	PFBCO	GPARG	ECOP	BCOL	INVERSIÓN	RENTAB PORT	RIESGO PORT	
445	37,000%	21,000%	14,000%	1,000%	11,000%	16,000%	100,000%	2,798%	0,585%	



517	25,547%	8,029%	10,219%	13,869%	32,847%	9,489%	100,000%	2,564%	0,904%
90	22,481%	13,953%	11,628%	13,953%	21,705%	16,279%	100,000%	2,414%	0,640%
236	25,000%	1,515%	9,848%	24,242%	28,030%	11,364%	100,000%	2,409%	0,784%
260	29,323%	11,278%	9,774%	6,767%	31,579%	11,278%	100,000%	2,395%	0,888%

Conteo General Resultados Modelo Creado		
Escenarios	Escenarios	Peso
Escenarios	532	100,000%
Escenarios Rentabilidad Mayor 0%	446	83,835%
Escenarios Rentabilidad Menor 0%	86	16,165%

### 5.1.2 Validación Número 2.

Para esta validación fue realizado el intercambio de las acciones Nutresa, Bancolombia por las acciones del Grupo Éxito, Preferencial Grupo Aval respectivamente.

PFBCOLOM: Preferencial Bancolombia.
<b>PFAVAL: Preferencial AVAL</b>
ECOPRETOL.
GRUPO ARGOS.
ISA: Isagen.
<b>ÉXITO</b>

Tabla 30 Resumen Comparabilidad SOLVER

RESUMEN COMPARABILIDAD SOLVER									
INVERSIÓN MINIMA	VPFB	VPFAV	VECO	VGRAR	VISA	VEXI	RIESGO	RENTABILIDAD	
5%	5,00%	66,55%	13,45%	5,00%	5,00%	5,00%	1,22%	0,00%	
1%	1,00%	83,85%	12,15%	1,00%	1,00%	1,00%	1,12%	0,00%	
0%	0,00%	88,18%	11,82%	0,00%	0,00%	0,00%	1,10%	0,00%	

Tabla 31  
Mejores Soluciones Modelo Desarrollado

Mejores Soluciones Modelo Desarrollado									
No. CROMOSOMAS	ÉXI	ISA	PFBCO	GPARG	ECOP	PFAV	INVERSIÓN	RENTA B PORT	RIESGO PORT
93	35,780%	8,257%	12,844%	12,844%	9,174%	21,101%	100,000%	2,645%	0,546%
301	28,205%	11,111%	28,205%	14,530%	17,949%	0,000%	100,000%	2,327%	0,598%
280	32,231%	13,223%	10,744%	14,050%	27,273%	2,479%	100,000%	2,326%	0,761%

163	24,138 %	13,103 %	13,793 %	13,103 %	22,759 %	13,103 %	100,000%	2,236%	0,693%
521	31,452 %	12,097 %	14,516 %	12,097 %	28,226 %	1,613%	100,000%	2,110%	0,802%

Conteo General Resultados Modelo Creado	Escenarios	Peso
Escenarios	532	100,000%
Escenarios Rentabilidad Mayor 0%	441	82,895%
Escenarios Rentabilidad Menor 0%	91	17,105%

### 5.1.3 Validación Número 3

Para esta validación fue realizado el intercambio de las acciones Nutresa, Bancolombia, Preferencial Bancolombia por las acciones del Grupo Éxito, Preferencial Grupo Aval, HORIZONS COLOMBIA SELECT S&P (HCOLSEL) respectivamente.

<b>HCOLSEL</b>
<b>PFAVAL: Preferencial AVAL</b>
ECOPRETOL.
GRUPO ARGOS.
ISA: Isagen.
<b>ÉXITO</b>

Tabla 32  
*Resumen Comparabilidad SOLVER*

RESUMEN COMPARIBILIDAD SOLVER									
INVERSIÓN MINIMA	VHCOL	VPFAV	VECO	VGRAR	VISA	VEXI	RIESGO	RENTAB PORT	
5%	75,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	0,86%	0,02%	
1%	95,00%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	0,69%	0,02%	
0%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,65%	0,02%	

Tabla 33  
*Mejores Soluciones Modelo Desarrollado*

Mejores Soluciones Modelo Desarrollado									
No. CROMOSOMAS	ÉXI	ISA	HCOL	GPARG	ECOP	PFAV	INVERSIÓN	RENTAB PORT	RIESGO PORT
292	31,538%	14,615%	3,846%	13,077%	23,846%	13,077%	100,000%	2,567%	1,439%
231	6,422%	17,431%	17,431%	12,844%	26,606%	19,266%	100,000%	2,361%	0,769%
454	27,193%	12,281%	20,175%	14,035%	11,404%	14,912%	100,000%	2,106%	0,530%

245	19,512%	19,512%	5,691%	16,260%	21,951%	17,073%	100,000%	2,072%	0,962%
7	19,512%	12,195%	23,577%	10,569%	22,764%	11,382%	100,000%	2,064%	0,651%

Conteo General Resultados Modelo Creado	Escenarios	Peso
Escenarios	532	100,000%
Escenarios Rentabilidad Mayor 0%	458	86,090%
Escenarios Rentabilidad Menor 0%	74	13,910%

#### 5.1.4 Validación Número 4.

Para esta validación fue realizado el intercambio de las acciones Nutresa, Bancolombia, Preferencial Bancolombia, Grupo Argos por las acciones del Grupo Éxito, Preferencial Grupo Aval, HORIZONS COLOMBIA SELECT S&P (HCOLSEL), Preferencial Davivienda respectivamente.

<b>HCOLSEL</b>
<b>PFAVAL: Preferencial AVAL</b>
ECOPRETOL.
<b>PFDAVIENDA: Preferencial Davivienda</b>
ISA: Isagen.
<b>ÉXITO</b>

Tabla 34  
Resumen Comparabilidad SOLVER

RESUMEN COMPARIBILIDAD SOLVER									
INVERSIÓN MINIMA	VHCOL	VPFAV	VECO	VPFDAV	VISA	VEXI	RIESGO	RENTAB PORT	
5%	75,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	0,86%	0,0199%	
1%	95,00%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	0,69%	0,0207%	
0%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,65%	0,0209%	

Tabla 35  
Mejores Soluciones Modelo Desarrollado

Mejores Soluciones Modelo Desarrollado									
No. CROMOSOMAS	ÉXI	ISA	HCOL	PFDAV	ECOP	PFVA	INVERSIÓN	RENTAB PORT	RIESGO PORT

370	30,081%	13,008%	4,065%	13,821%	25,203%	13,821%	100,000%	2,796%	1,124%
150	24,138%	24,138%	6,034%	16,379%	14,655%	14,655%	100,000%	2,516%	0,974%
343	31,008%	13,178%	27,132%	14,729%	12,403%	1,550%	100,000%	2,377%	1,142%
131	51,818%	10,909%	4,545%	10,909%	10,000%	11,818%	100,000%	2,374%	1,721%
403	28,261%	8,696%	26,812%	10,870%	10,145%	15,217%	100,000%	2,252%	1,035%

Conteo General Resultados Modelo Creado	Escenarios	Peso
Escenarios	532	100,000%
Escenarios Rentabilidad Mayor 0%	451	84,774%
Escenarios Rentabilidad Menor 0%	81	15,226%

### 5.1.5 Validación Número 5.

Es de resaltar que para esta validación fue realizado el intercambio de la Acción Nutresa por la acción AVIANCA HOLDINGS S.A. (AVT) (PFAVH).

PFBCOLOM: Preferencial Bancolombia.
BCOLOMBIA: Bancolombia.
ECOPRETOL.
GRUPO ARGOS.
ISA: Isagen.
<b>PFAVH</b>

Tabla 36 Mejores Soluciones Modelo Desarrollado

RESUMEN COMPARIBILIDAD SOLVER								
INVERSIÓN MINIMA	VPFB	VBCO	VECO	VGRAR	VISA	VPFAVH	RIESGO PORT	RENTAB PORT
5%	5,00%	5,00%	7,59%	5,00%	72,41%	5,00%	1,21%	0,00%
1%	1,00%	1,00%	6,43%	1,00%	89,57%	1,00%	1,14%	0,00%
0%	0,00%	0,00%	6,14%	0,00%	93,86%	0,00%	1,13%	0,00%

Mejores Soluciones Modelo Desarrollado									
No. CROMOSOMAS	PFAVH	ISA	PFBCOL	GPARGOS	ECOP	BCO	INVERSIÓN	RENTAB PORT	RIESGO PORT
52	14,530%	23,077%	15,385%	16,239%	14,530%	16,239%	100,000%	1,925%	0,647%
352	13,913%	9,565%	13,913%	24,348%	24,348%	13,913%	100,000%	1,772%	0,777%
157	16,788%	16,788%	15,328%	16,788%	21,898%	12,409%	100,000%	1,728%	0,687%
169	14,407%	17,797%	14,407%	17,797%	18,644%	16,949%	100,000%	1,718%	0,690%
265	15,385%	20,513%	16,239%	11,111%	21,368%	15,385%	100,000%	1,625%	0,703%

Conteo General Resultados Modelo Creado	Escenarios	Peso
Escenarios	532	100,000%
Escenarios Rentabilidad Mayor 0%	355	66,729%
Escenarios Rentabilidad Menor 0%	177	33,271%

## 6. CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

El modelo propuesto para crear portafolios de inversión óptimos a través del algoritmo genético y algoritmo de vecindad es superior al aplicativo solver.

Se tienen algunas acciones dominantes dentro de los portafolios, aun así para diversificar el riesgo, en el modelo se establecieron inversiones mínimas de 0%, 1% o 5% con el objetivo de no enfocar la inversión en una sola acción (la más dominante).

Con Excel y el aplicativo Solver se obtienen resultados desconociendo si la solución es global o local, con el algoritmo genético en una simulación se pueden obtener soluciones en una mayor cantidad y a través del algoritmo de vecindad tomar las soluciones que son cercanas.

Es posible aplicar metaheurísticas para el desarrollo y definición de portafolios, no es necesario realizarlo como una caja negra, por el contrario, se puede intervenir en el algoritmo para ajustarlo a las necesidades.

Se logra reproducir un algoritmo genético en Excel.

Se tiene en cuenta el perfil del inversionista para determinar el área de factibilidad y la posible inversión.

Este modelo es posible complementarlo con el fin de fortalecer el laboratorio financiero de la Universidad.

### 6.2 Recomendaciones

Ampliar el estudio realizado incluyendo las cadenas de Márkov, para inferir cuales son las acciones que tienden al alza y cuáles son las acciones que tienden a la baja.

Hacer uso de los multiplicadores de Lagrange para utilizar los precios sombra en la selección de portafolios cuando la variación es muy pequeña.

Considerar la medición del Backtesting para ver qué tan fuerte es el portafolio a través de un periodo de tiempo.

Aplicar el Stresstesting para considerar el portafolio ante cambios económicos.

Desarrollar una herramienta computacional que quede disponible en Excel.

Desarrollar una App para que las personas pueda armar un portafolio desde su equipo móvil

Crear una maquina a través del análisis técnico para facilitar la toma de decisiones a través de los indicadores de la bolsa.

## 7. Referencias

- Abzuardez, N. (2014). Portafolios de Inversión. Obtenido de:  
<http://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/14985>
- Bolsa de Valores. (2018) Acciones Índice COLCAP (Feb - Abr 2018). Obtenido de:  
[https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/Mercados/enlinea/indicesbursatiles?com.tibco.ps.pagesvc.renderParams.sub45d083c1\\_14321f5c9c5\\_-78350a0a600b=action%3Ddetallar%26org.springframework.web.portlet.mvc.ImplicitModel%3Dtrue%26](https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/Mercados/enlinea/indicesbursatiles?com.tibco.ps.pagesvc.renderParams.sub45d083c1_14321f5c9c5_-78350a0a600b=action%3Ddetallar%26org.springframework.web.portlet.mvc.ImplicitModel%3Dtrue%26)
- Bolsa de Valores. (s, f). Definición de leyes. Obtenido de:  
[https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/Regulacion/Mercado\\_de\\_Valores/Leyes?action=dummy](https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/Regulacion/Mercado_de_Valores/Leyes?action=dummy)
- Bolsa de Valores de Colombia. (s, f). Mercado de renta variable. Obtenido de:  
<https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/Mercados/enlinea/acciones>
- Cruz M, Díaz M. (2009). Un Mecanismo de Vecindad con Búsqueda Local y Algoritmo Genético para el Problema de Transporte con Ventanas de Tiempo. Obtenido de:  
<http://www.progmat.uaem.mx:8080/articulos/vol1no1articulo6.pdf>
- Dados, I. D. E. C. D. E. (1996). Capítulo 4. *Dados*, (4), 25–39.
- Fornero, R. A. (2007). Cronología fotográfica de las finanzas: los instrumentos, los conceptos, las herramientas. Obtenido de:  
[http://www.cashflow88.com/decisiones/fornero/Cronologia\\_fotografica\\_finanzas\\_1\\_Introduccion\\_y\\_1600-1900.pdf](http://www.cashflow88.com/decisiones/fornero/Cronologia_fotografica_finanzas_1_Introduccion_y_1600-1900.pdf)
- Fornero, R. A. (2007b). Fama y los tres tipos de eficiencia.
- Frias-Navarro, D. (2006). Alfa de Cronbach y consistencia interna de los ítems de un instrumento de medida. *Universitat de Valencia* Obtenido de: <http://www.es/friasnav/>
- Gallego, Toro, Escobar. (2015). Técnicas Heurísticas y Metaheurísticas
- Gálvez, Salgado, Gutiérrez (s, f). Optimización de Carteras de Inversión Modelo de Markowitz y Estimación de Volatilidad con Garch. p.39, 50. Obtenido de:  
<http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/42/version%209-2/finanzas.pdf>



Medina, L. Á. (2003). Portafolio En El Mercado Accionario Colombiano. *Cuadernos de Economía*, 22, 129–168.

Ramos, Sanchez, Ferrer, Barquín, Linares. (2010). Modelos matemáticos de optimización.

Obtenido de:

[https://www.researchgate.net/publication/237494291\\_MODELOS\\_MATEMATICOS\\_DE\\_OPTIMIZACION](https://www.researchgate.net/publication/237494291_MODELOS_MATEMATICOS_DE_OPTIMIZACION)

Superintendencia financiera. (2008). Conceptos Básicos del Mercado de Valores, p.1,30.

Obtenido de:

<https://www.superfinanciera.gov.co/SFCant/ConsumidorFinanciero/conceptosbasicosmv.pdf>

Superintendencia financiera. (s, f). Definición portafolio de inversión. Obtenido de:

<https://www.superfinanciera.gov.co/jsp/Glosario/user/main/letra/P/f/0/c/00>

Suárez O. (2011). Una aproximación a la heurística y metaheurísticas. *Universidad Antonio Nariño*.

## 8. Anexos

### Macro – Botón Recalcular.

El desarrollo del código de esta Macro, consiste en la ejecución Automática de la acción recalcular las fórmulas del libro de Excel, relacionadas en el rango de celdas Z1:AJ1 correspondientes a los escenarios cambiantes. Esto con el objetivo de llevar a cabo el recalcular de los escenarios de correspondientes a la distribución de la inversión en el posible portafolio relacionando de igual manera la rentabilidad esperada y el nivel del riesgo del portafolio.

```
Sub recalcular()
```

```
'
```

```
' recalcular Macro
```

```
'
```

```
'
```

```
Calculate
```

```
Range("Z1:AJ1").Select
```

```
End Sub
```

### **Macro – Botón Convertir Datos Dinámicos – Estáticos.**

La presente macro de Excel, fue desarrollada con el objetivo de ejecutar la acción de seleccionar los datos del rango de celdas comprendidos entre ("A1:K1") relacionado al campo de celdas formuladas para realizar la simulación de los posibles portafolios de inversión, con el fin principal de realizar la conversión de los datos de fórmulas a Datos Valores con el objetivo de permitir el procesamiento de la información en los pasos posteriores, con el ánimo principal de prevenir la modificación de los escenarios y de esta manera realizar un análisis objetivo del conjunto de datos obtenidos, siendo estos transformados de formato y consignados en el rango de celdas ("Z1:AJ1").

```
Sub copiardatos()
```

```
,
```

```
' copiardatos Macro
```

```
,
```

```
,
```

```
Range("A1:K1").Select
```

```
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
```

```
Selection.Copy
```

```
Range("A1:K1").Select
```

```
Selection.End(xlToRight).Select
```

```
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _
```

```
xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False
```

```
End Sub
```

### Macro – Botón Ordenador Datos.

La actual macro se encarga de ejecutar el traslado de los datos desde el libro de Excel “ESCENARIOS – Cambiantes” desde la celda “Z3-AJ3” rango en el cual se consignan los datos que fueron transformados cambiando la formulación de celdas a datos Valores y pegarlos a partir de la celda A3 de la hoja de cálculo Denominada “Análisis de Datos”. Lo anterior con el objetivo de permitir la ejecución de manera automática de las formulas construidas en el libro nombrado anteriormente, y de esta forma realizar un análisis previo donde se comparan los resultados del modelo creado respecto a la solución brindada por la metaheurística SOLVER.

```
Sub Ordenador_datos()
```

```
,
```

```
' Ordenador_datos Macro
```

```
,
```

```
,
```

```
Range("Y8").Select
```

```
Application.CutCopyMode = False
```

```
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-6
```

```
Range("Z1:AJ1").Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Tabla de Datos"
```

```
Range("Z2").Select
```

```
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
```

```
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
```

```
ActiveWorkbook.Worksheets("ESCENARIOS - Cambiantes").Sort.SortFields.Clear
```

```
ActiveWorkbook.Worksheets("ESCENARIOS - Cambiantes").Sort.SortFields.Add Key _
```

```
:=Range("AI3:AI534"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlDescending, _
```

```
DataOption:=xlSortNormal
```

```
With ActiveWorkbook.Worksheets("ESCENARIOS - Cambiantes").Sort
```

```
.SetRange Range("Z2:AJ534")
```

```
.Header = xlYes
```

```
.MatchCase = False
.Orientation = xlTopToBottom
.SortMethod = xlPinYin
.Apply
End With
Sheets("Analisis Datos").Select
Range("A516").Select
Selection.End(xlUp).Select
Range("A3").Select
ActiveWindow.DisplayGridlines = False
Range("A3").Select
End Sub
```

### Macro – Botón Discriminación de Escenarios.

La actual macro se encarga de ejecutar el traslado de los datos desde el libro de Excel “Análisis de Datos” desde la celda “A3-K3” y los lleva a la hoja de Excel “DASHBOARD”; durante el desarrollo de este proceso realiza de manera automática filtros al conjunto de datos separando dos series de datos: uno de estos se compone por las 50 mejores soluciones creadas por el modelo desarrollado en el trabajo de grado, y por otra parte, un otro conjunto de datos se compone por las 50 peores soluciones obtenidas por el modelo desarrollado, conjunto de datos que son comparados respecto a las soluciones obtenidas en la aplicación de la metaheurística SOLVER.

Sub escenarios()

```
'
' escenarios Macro
'
'
'
Range("A2").Select
Selection.AutoFilter
Range("J2").Select
ActiveSheet.Range("$A$2:$K$534").AutoFilter Field:=10, Criteria1:="50", _
    Operator:=xlTop10Items
Range("G3").Select
Selection.End(xlDown).Select
Range(Selection, Selection.End(xlUp)).Select
Range("F52").Select
Selection.End(xlToLeft).Select
Selection.End(xlUp).Select
Range("A3").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.Copy
```

```
Sheets("DASHBOARD").Select
Range("A15").Select
ActiveSheet.Paste
Range("A14").Select
ActiveSheet.Previous.Select
Range("J2").Select
ActiveSheet.Range("$A$2:$K$534").AutoFilter Field:=10, Criteria1:="50", _
    Operator:=xlBottom10Items
Range("A485").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
ActiveSheet.Next.Select
Range("L15").Select
ActiveSheet.Paste
Range("A15").Select
ActiveSheet.Previous.Select
Selection.End(xlUp).Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.AutoFilter
Selection.End(xlUp).Select
ActiveSheet.Next.Select
Range("A1").Select
End Sub
```

### **Macro – Botón Ver DASHBOARD GRÁFICOS.**

La presente macro se encarga de realizar la tarea de trasladar al usuario hasta la Hoja de Cálculo denominada “DASHBOARD GRAFICOS” y de esta manera permitir la observación de los gráficos que permiten de una manera rápida obtener un perfil de las soluciones obtenidas en la simulación realizada a través del modelo desarrollado en el presente trabajo de grado.

En esta hoja se consignan gráficos tales como:

- **Escenarios Generados por el Modelo Creado:** resume de manera rápida el porcentajes soluciones optimas que son mejores que la brindadas por la metaheurística SOLVER.
- **Comparativo Conjunto Eficiente Modelo Creado Vs Solver:** Muestra la gráfica Riesgo- Rentabilidad permitiendo una comparabilidad visual del posible campo de soluciones entre el modelo creado y el modelo empleado para validación.
- **Comparación 50 mejores escenarios Modelo Creado Vs Solución Solver:** Muestra la gráfica Riesgo- Rentabilidad permitiendo una comparabilidad visual del posible campo de soluciones entre el modelo creado y el modelo empleado para validación, solo realizando la comparación de los 50 mejores soluciones obtenidas respecto a las soluciones obtenidas por la metaheurística Solver.
- **Comportamiento Rentabilidad –Riesgo (50 Mejores Escenarios):** el presente Grafico permite apreciar el comportamiento de la rentabilidad respecto al riesgo de cada solución obtenida, permitiendo de esta manera observar que se evidencia la maximización de la rentabilidad y la minimización del riesgo, aspectos objetivos del presente trabajo de grado.

Sub dbg()

,

' dbg Macro

,



```
Sheets("DASHBOARD GRAFICOS").Select  
Range("B3:W4").Select  
ActiveWindow.Zoom = 55  
ActiveWindow.Zoom = 70  
ActiveWindow.Zoom = 55  
Range("B40").Select  
End Sub
```

**Macro – Botón REALIZAR ANÁLISIS RÁPIDO.**

La actual macro se encarga de ejecutar el llamado a todas la macros consignadas en el libro de Excel, permitiendo de esta manera una ejecución simultaneo de los macros y de esta manera realizar una optimización de tiempo y permitir la obtención de la información con el ánimo de permitir la ejecución de un análisis rápido de las soluciones obtenidas por el modelo creado, llevando el usuario hasta la hoja de cálculo denominada “DASHBOARD GRAFICOS”.

```
Sub Fullsystem()
```

```
'
```

```
' Fullsystem Macro
```

```
'
```

```
'
```

```
Call recalcular
```

```
Call copiardatos
```

```
Call Ordenador_datos
```

```
Call escenarios
```

```
Call dbg
```

```
End Sub
```

**Documento 1.****Título:**

Algoritmos de búsqueda usando vecindad

**Autores:**

Antonio Escobar

Ramón Gallego

Eliana Toro

**Año:**

2015

**Objetivo:**

Explicar el algoritmo de vecindad en el cual se busca a partir de una solución inicial generalmente factible, otras soluciones vecinas que sean de mejor calidad.

**Resumen (Qué, Cómo, Para Que).**

Se presenta el concepto de algoritmo de vecindad, expresando como  $x$  la solución inicial corriente, y la cantidad de vecinos posibles de esa solución (vector  $x$ ), existiendo vecindad fija o vecindad variable, en donde el algoritmo se aplica hasta que se encuentra la solución vecina de mejor calidad, se realizan ejemplos de vecindad en los problemas de la mochila y el agente viajero.

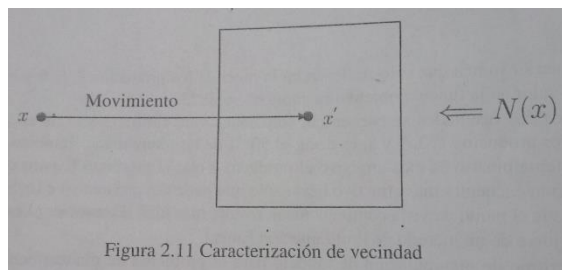
**Análisis Crítico del Artículo:**

<b>Metodología Presentada en el Artículo</b>	<b>Modelo propuesto en este trabajo de investigación</b>
--	--

A partir de una solución inicial (configuración) generalmente factible se usa un mecanismo de transición adecuado para encontrar una solución vecina de mejor calidad.

$x$  = solución inicial (configuración actual)

$N(x)$  = Conjunto de soluciones vecinas



El algoritmo aplica el siguiente procedimiento:

- 1- Define una solución de inicio  $x$  (solución actual)
- 2- Usando un mecanismo de transición definido se encuentra una solución vecina de  $x$  en el conjunto  $N(x)$ , si la solución vecina es de mejor calidad que la actual se avanza hacia la solución vecina y si la solución vecina es de peor calidad que la actual se busca una nueva solución vecina hasta encontrar la de mayor calidad.
- 3- Si en el vecindario  $N(x)$  no se encuentra una solución que mejore la solución actual, el proceso finaliza y la solución actual es definida como la solución del problema.

El trabajo utilizará este algoritmo como base para encontrar soluciones óptimas de mejor calidad a partir de la solución inicial que brinde el modelo, definiendo el conjunto de soluciones vecinas posibles que puedan mejorar el resultado de la función objetivo, sin dejar de lado las restricciones que se generen en el modelo.

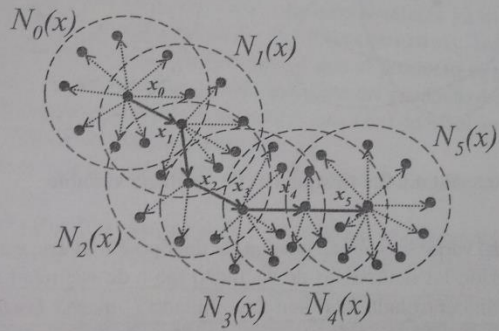


Figura 2.13 Algoritmo de vecindad *Best Improvement*

$x_0$  es de peor calidad que  $x_1$

Caso en donde las vecindades no están correlacionadas entre sí:

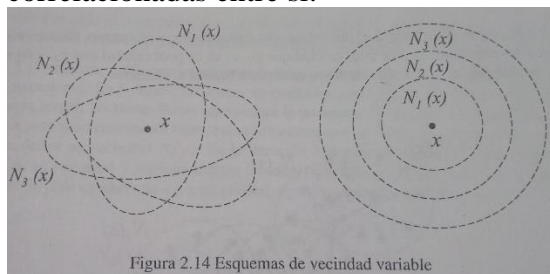


Figura 2.14 Esquemas de vecindad variable

En las heurísticas de vecindad fija o de vecindad variable se pueden presentar mecanismos de perturbación controlada que generarán alteraciones bruscas cuando no se logra mejorar la solución actual:

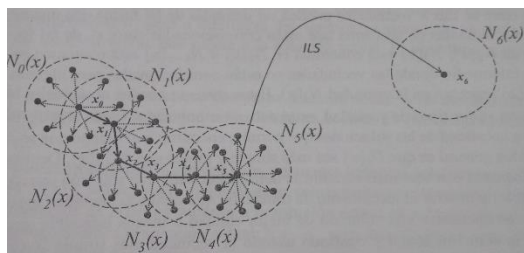


Figura 2.15 Perturbación controlada en heurísticas de vecindad

### Criterio de Búsqueda:

Libro Técnicas Heurísticas y Metaheurísticas 2015 UTP.

Frase:

Heurísticas y metaheurísticas

Dirección (URL):

No Aplica.

## **Documento 2.**

**Título:**

ALGORITMOS GENÉTICOS

**Autores:**

Arranz de la Peña, Jorge

Parra Truyol, Antonio

**Año:**

1962

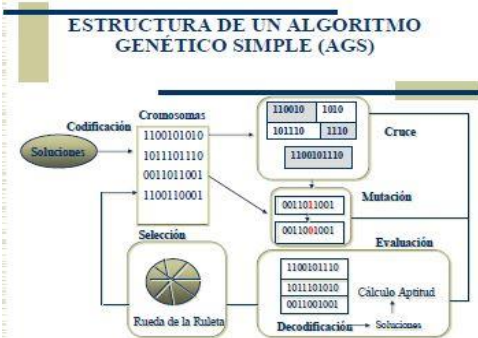
**Objetivo:**

Analizar los algoritmos genéticos descubriendo su funcionamiento y sus secretos.

**Resumen (Qué, Cómo, Para Que).**

Se presenta el algoritmo genético, su origen, los pasos básicos para su aplicación, parámetros del mismo y las operaciones que incluyen la codificación, selección, reproducción y mutación, así mismo se mencionan las ventajas y desventajas del algoritmo.

**Análisis Crítico del Artículo:**

Metodología Presentada en el Artículo	Modelo propuesto en este trabajo de investigación
<p>Los pasos básicos de un algoritmo genético son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar la puntuación de cada uno de los cromosomas generados.</li> <li>• Permitir la reproducción de los cromosomas siendo los más aptos los que tengan más probabilidad de reproducirse.</li> <li>• Con cierta probabilidad de mutación, mutar un gen del nuevo individuo generado.</li> <li>• Organizar la nueva población.</li> </ul>  <p><b>ESTRUCTURA DE UN ALGORITMO GENÉTICO SIMPLE (AGS)</b></p> <p>Figura1. Esquema de un algoritmo genético simple.</p> <p><b>PARÁMETROS DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño de la Población</li> <li>• Probabilidad de Cruce</li> <li>• Probabilidad de Mutación</li> </ul> <p><b>OPERACIONES DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Codificación de las Variables</b> Codificación binaria Codificación Numérica Codificación por Valor Directo Codificación en Árbol</li> <li>• <b>Selección</b></li> </ul> <p><b>Selección por Rueda de Ruleta</b></p>	<p>Para el Modelo de creación de portafolios de inversión, se tendrá en cuenta el algoritmo genético para el desarrollo o estructuración del mismo, a través del cual se buscará llegar a la solución óptima en la selección de acciones que generen mayor rentabilidad con minimización del riesgo, para la codificación de las variables se realizará a través del sistema binario, y para los demás pasos de selección, crossover y mutación se realizarán las pruebas para identificar la opción que mejor se ajuste a las necesidades y que mejor solución brinde en la creación de portafolios.</p>

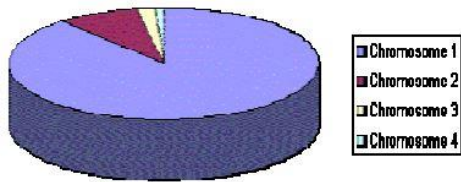


Figura 5. Caso de selección por ruleta.

### Selección por Rango

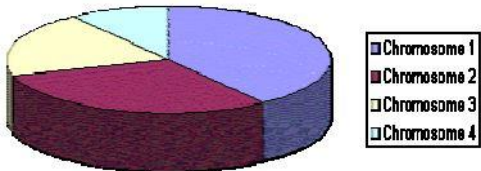


Figura 6. Caso de selección por ranking.

**Selección Elitista:** Este método de selección copia el mejor cromosoma o alguno de los mejores en la nueva población

**Selección por Estado Estacionario**

**Selección por Torneo**

**Selección Escalada**

**Selección Jerárquica**

- **Reproducción o Crossover (cruce)**

Crossover 1 Punto

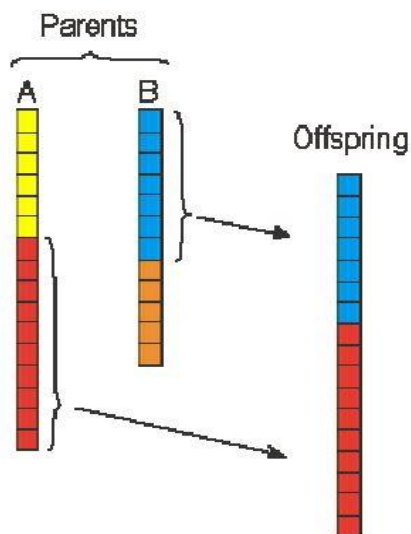
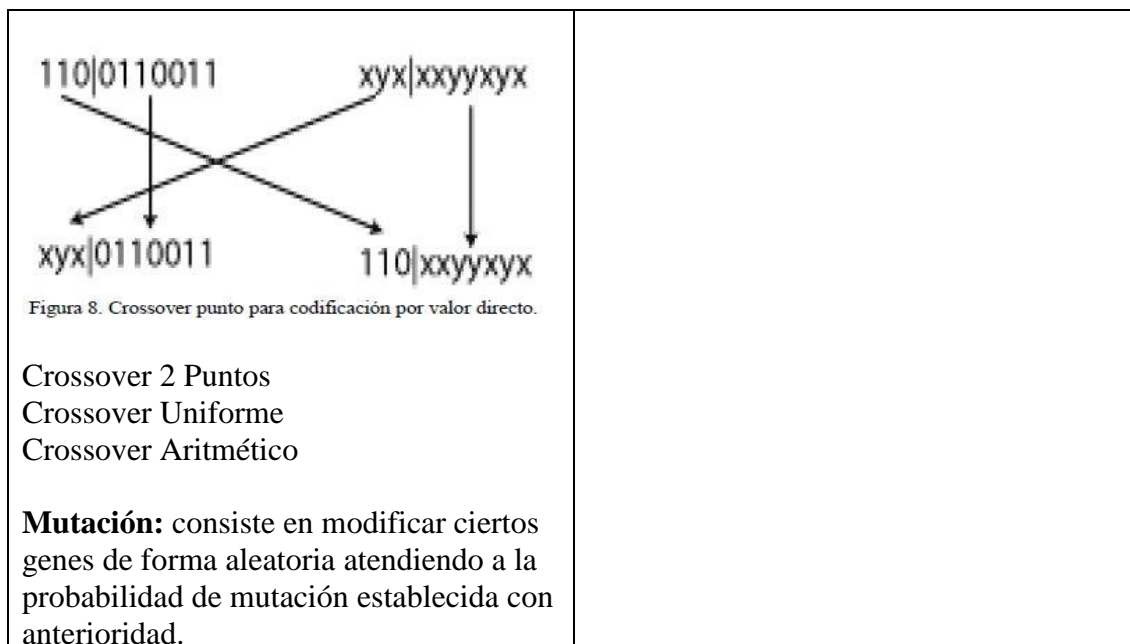


Figura 7. Crossover 1 punto para codificación binaria.





### Criterio de Búsqueda:

Google académico

Frase:

Algoritmos genéticos

Dirección (URL):

[https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35889597/Algoritmos\\_Geneticos\\_app.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1521587592&Signature=4hJlnII2ZX1gzlKvxR%2F7An04uMw%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DALGORITMOS\\_GENETICOS.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35889597/Algoritmos_Geneticos_app.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1521587592&Signature=4hJlnII2ZX1gzlKvxR%2F7An04uMw%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DALGORITMOS_GENETICOS.pdf)

### Documento 3.

#### Título:

Análisis de portafolio por sectores mediante el uso de algoritmos genéticos:

caso aplicado a la Bolsa Mexicana de Valores

**Autores:**

Martha del Pilar Rodríguez García

Klender Aimer Cortez Alejandro

Alma Berenice Méndez Sáenz

Héctor Horacio Garza Sánchez

**Año:**

2014

**Objetivo:**

Encontrar un portafolio en la bolsa de valores Mexicana que maximice los indicadores Alfa de Jensen y Ratio de Sharpe por sectores.

**Resumen (Qué, Cómo, Para Que).**

Se presenta información financiera a nivel general de México entre los años 2007 y 2013, se mencionan algunos antecedentes del algoritmo, y se desarrolla la metodología para analizar el portafolio por sectores de la bolsa de valores Mexicana.

**Análisis Crítico del Artículo:**

<b>Metodología Presentada en el Artículo</b>	<b>Modelo propuesto en este trabajo de investigación</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>La fórmula para el rendimiento de portafolios:</li> </ul> $R_p = \frac{\sum_{i=1}^n x_i R_i}{\sum_{i=1}^n x_i}$	<p>Para el Modelo se tendrá en cuenta la metodología expuesta en el documento, teniendo en cuenta el algoritmo genético para la creación del mismo, sin embargo, no se realizará para definir portafolios por sectores, pues se adicionará al método, la heurística para definición de la solución</p>

<p><math>x_i =</math> peso de cada uno de los activos individuales que conforman el portafolio</p> <p><math>R_i =</math> Rendimientos esperados de los activos individuales (promedio)</p> <p><math>R_p =</math> Rendimientos promedio del portafolio (promedio)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Varianza:</li> </ul> $\alpha_p^2 = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N x_j x_k \sigma_{j,k}$ <p><math>x_j, x_k =</math> Representan los pesos dentro del portafolio de los activos <math>j, k</math></p> <p><math>N =</math> número de empresas que forman parte del portafolio</p> <p><math>\sigma_p^2 =</math> Varianza de portafolio</p> <p><math>\sigma_{j,k} = \sigma_j^2 = \sigma_k^2, \text{ si } j = k</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El alfa de Jensen: medida del grado en el cual el rendimiento promedio del portafolio responsable excede el rendimiento del portafolio del mercado</li> </ul> $\alpha = R_p - [R_f + \beta(R_m - R_f)]$ <p><math>\alpha =</math> alfa de jensen</p> <p><math>R_p =</math> Rendimiento esperado del portafolio</p> <p><math>R_f =</math> Rendimiento libre de riesgo</p> <p><math>R_m =</math> Rendimiento de mercado de portafolio</p>	<p>inicial, el algoritmo de vecindad para encontrar soluciones vecinas optimas o de mejor calidad y adicional, se utilizará el sistema binario.</p>
---	---

- El ratio de Sharpe: que tan bien el rendimiento de un activo compensa el riesgo asumido

$$S = \frac{R_p - R_f}{\sigma_p}$$

$R_p =$  Rendimiento esperado del portafolio

$R_f =$  Rendimiento de la tasa libre de riesgo

$\sigma_p =$  Riesgo esperado medido con la desviación estandar del portafolio

Si la  $R_f$  esta libre de riesgo entonces la varianza es cero

- Total de ganancias (TG): Número de veces que el rendimiento del portafolio supera el rendimiento promedio del mercado

$$TG = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n v_t$$

$n =$  número de observaciones

$$v_t = 1 \text{ si } (R_p - R_M)_t > 0$$

$$v_t = 0 \text{ si } (R_p - R_M)_t \leq 0$$

- Frontera eficiente (FE)

$$\min S_p^2$$

$$\text{s. a: } R_p = r; \quad 0 \leq x \leq 1; \quad \sum_{i=1}^T x_i$$

$$r = r_j^{\min}, \dots, r_k^{\max}$$

$r_j^{\min} =$  valor de la acción con mínimo rendimiento

<p><math>r_k^{max}</math> = valor de la acción con máximo rendimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Problema de optimización</li> </ul> $Max = \frac{R_p [R_f + \beta (R_m - R_f)]}{3} + \frac{R_p - R_f}{3\sigma_p} + \frac{\sum_{t=1}^N v_t}{3N}$ <p><math>P - valor( ) \leq 0.1</math></p> $\sum_{i=1}^N x_i = 1$ <p><math>0,01 \leq x_i \leq 1</math></p>	
--	--

**Criterio de Búsqueda:**

Base de datos:

<https://www-sciencedirect-com.ezproxy.utp.edu.co/>

Frase:

+ Algoritmo genético + optimización de portafolio

Dirección (URL):

<https://www-sciencedirect-com.ezproxy.utp.edu.co/science/article/pii/S0186104215721480>

**Documento 4.****Título:**

Comparación de dos algoritmos metaheurísticos para el problema de optimización de portafolios de inversión

**Autores:**

Pablo Fonseca Arroyo

Manuel Luna Trujillo

Juan Trelles Trabucco

**Año:**

S.F

**Objetivo:**

Presentar un comparativo de los resultados obtenidos a partir de dos algoritmos metaheurísticos de optimización en portafolios de inversión.

**Resumen (Qué, Cómo, Para Que).**

Se presenta un caso aplicado al problema de la mochila asemejado a un problema de optimización de portafolios de inversión en proyectos de construcción, que cuenta con una capacidad máxima (inversión máxima), se resuelve partiendo del algoritmo GRASP (Greedy Randomized Adaptative Search Procedure) y aplicando al algoritmo genético y al algoritmo Tabú realizando un comparativo y conclusiones de los resultados.

**Análisis Crítico del Artículo:**

Metodología Presentada en el Artículo	Modelo propuesto en este trabajo de investigación
<ul style="list-style-type: none"> <li>Definición del problema</li> </ul> $P = p_1, p_2, p_3 \dots p_r$ $S = s_1, s_2, s_3 \dots s_r$ <p><math>p_i =</math> ganancia asociada al objeto <math>i</math> – ésimo</p> <p><math>s_i =</math> tamaño o peso del objeto <math>i</math> – ésimo</p> <p>La mochila tiene una capacidad <math>C</math> y se seleccionan los objetos que maximicen la ganancia asociada sujetos a la restricción de capacidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Algoritmo GRASP</li> </ul> <p>Se consideró la utilización de un árbol de decisiones para asignar una ponderación jerárquica (calificación financiera) a las características del proyecto.</p> <p>Puntuación entre 1 y <math>M</math>, donde <math>M &gt; 1</math> y además <math>M</math> representa un valor más deseable.</p> <p>Se genera la lista con los proyectos seleccionados sujetos a una restricción de presupuesto que representa la cantidad máxima de dinero que podría invertir el inversionista.</p>	<p>El algoritmo GRAS no se utilizará en el modelo propuesto, ya que el mercado de capitales difiere de los proyectos de construcción, asignar una calificación financiera a los portafolios no va ligada a la zona de inversión, a la experiencia del constructor, entre otros, va ligada directamente a los resultados de los valores o índices, resultados que se tendrán en cuenta para el modelo a estructurar.</p> <p>Para el Modelo se tendrá en cuenta el algoritmo genético y una vez se encuentre un resultado de buena calidad, se aplicará un algoritmo de vecindad con el fin de encontrar el resultado óptimo, sin embargo, en el documento se propone el algoritmo Tabú como modelo de vecindad para resolverlo y definir el portafolio a partir del algoritmo GRAS, como conclusión el algoritmo de mejor resultado es el algoritmo genético, el cual tendremos en cuenta en el modelo.</p> <p>Teniendo en cuenta que, en el modelo a plantear a partir del resultado de buena calidad, aplicaremos un algoritmo de vecindad, podríamos revisar si a partir del resultado del algoritmo genético, se puede comparar el algoritmo tabú frente a otros algoritmos de vecindad para encontrar resultados cercanos más óptimos en ese paso final.</p>
<hr/> <p><b>Algoritmo 1</b> Algoritmo Grasp</p> <pre> mientras presupuesto &gt; 0 hacer   Ordenar(ListaProyectos, puntaje, descendente)   <math>\beta \leftarrow</math> Primero(ListaProyectos)   <math>\tau \leftarrow</math> Ultimo(ListaProyectos)   <math>RCL \leftarrow</math> FormarRCL(ListaProyectos, <math>\beta</math>, <math>\tau</math>, <math>\alpha</math>)   proyectoSeleccionado <math>\leftarrow</math> Aleatorio(RCL)   ListaProyectos <math>\leftarrow</math> ListaProyectos - {proyectoSeleccionado}   ListaSeleccionados <math>\leftarrow</math> ListaSeleccionados <math>\cup</math> {proyectoSeleccionado}   ReducirPresupuesto(proyectoSeleccionado) fin mientras </pre> <hr/>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Algoritmo genético</li> </ul> <p>Gen: Representa un proyecto, tiene dos posibles valores 0 y 1.</p> <p>Cromosoma: Estructura que contiene todos los proyectos evaluados por el algoritmo (tras la fase de filtrado).</p>	

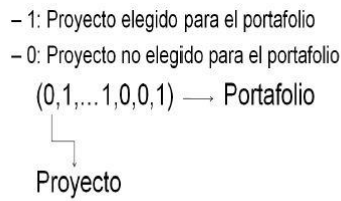


Figura 4: Esquema de las estructuras para el algoritmo genético

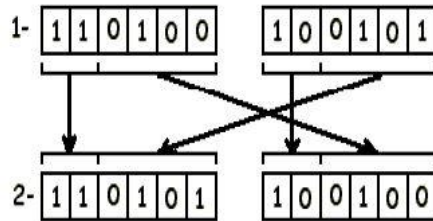


Figura 5: Operador de casamiento

---

**Algoritmo 2** Algoritmo Genético

```

poblacion ← GeneracionPoblacionInicialDeAlgoritmoGRASP()
mientras condiciondeparada hacer
  MedirAdaptacion(poblacion)
  poblacionMejoresAdaptados ← SeleccionMejoresAdaptados(poblacion)
  poblacionMejora ← Casamiento(poblacionMejoresAdaptados)
  poblacionMutacion ← Mutacion(poblacionMejoresAdaptados)
  poblacion ← poblacionMejoresAdaptados ∪ poblacionMutacion ∪ poblacionMejora
fin mientras
  
```

---

- Algoritmo Tabú

La principal idea del algoritmo es realizar búsquedas en vecindarios

---

**Algoritmo 3** Algoritmo Búsqueda Tabú

```

solucionActual ← ObtenerSolucionDeAlgoritmoGrasp()
mientras condiciondeparada hacer
  vecindario ← GenerarVecindario(solucionActual)
  solucionActual ← MejorSolucion(vecindario)
  ActualizarHistorial()
  ActualizarTurnoTabu()
  si solucionActual > mejorSolucion entonces
    mejorSolucion ← solucionActual
  fin si
  si TurnoEstrategia() entonces
    RealizarEstrategia()
  fin si
fin mientras
  
```

---

Elementos del espacio muestral

$$\text{Elemento} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$x_i = \text{proyecto de inversión}$



<p>Lista Tabú: almacena los portafolios prohibidos una vez que son visitados, para evitar repetir la evaluación del portafolio.</p> <p>Memoria a largo plazo y estrategias: Estructura que almacenará a los mejores K portafolios encontrados en el desarrollo de la búsqueda.</p>	
--	--

**Criterio de Búsqueda:**

Google académico

Frase:

Algoritmo genético + portafolio de inversión.

Dirección (URL):

<http://metis.pucp.edu.pe/~pfonseca/jpc2009-fonseca-luna-trelles.pdf>

**Documento 5.****Título:**

Heurísticas

**Autores:**

Antonio Escobar

Ramón Gallego

Eliana Toro

**Año:**

2015

**Objetivo:**

Presentar el concepto de heurísticas y la importancia de las mismas para casos de optimización matemática en búsqueda de soluciones buenas.

**Resumen (Qué, Cómo, Para Que).**

Se presenta el concepto de heurísticas, las diferentes aplicaciones definidas como estrategias en la búsqueda de soluciones y en la importancia de las mismas para la comunidad científica, aplicada a casos de optimización matemática para la búsqueda de soluciones buenas, adicional se presenta como ejemplo problema del agente viajero para plantear el modelo matemático.

**Análisis Crítico del Artículo:**

<b>Metodología Presentada en el Artículo</b>	<b>Modelo propuesto en este trabajo de investigación</b>
<p>Las heurísticas continúan siendo muy utilizadas por la comunidad científica del área de investigación de operaciones porque:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para el problema que se analiza no se conoce un modelo matemático en la forma de función objetivo y restricciones.</li> <li>• Existe un modelo matemático para el problema pero no existe un método (algoritmo) exacto para resolverlo.</li> <li>• Se requiere un punto inicial de buena calidad para un método exacto o una técnica metaheurística, con el propósito de que el proceso sea más eficiente en tiempo de cómputo y en calidad de la solución. Las técnicas</li> </ul>	<p>Para el Modelo se tendrá en cuenta la heurística en el paso de selección del punto inicial: <i>“se requiere un punto inicial de buena calidad para un método exacto o una técnica metaheurística, con el propósito de que el proceso sea más eficiente en tiempo de cómputo y en calidad de la solución. Las técnicas heurísticas proveen buenos puntos de arranque, y en el caso de métodos que usan poblaciones o son multiarranque, permiten crear múltiples soluciones de inicio de buena calidad”</i>.</p> <p>Dentro del modelo se tendrá en cuenta:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La codificación de alternativas que se encuentren en el espacio de búsqueda definido</li> <li>• Las transiciones entre soluciones (vecindad)</li> <li>• La función de adaptación</li> </ul>

<p>heurísticas proveen buenos puntos de arranque, y en el caso de métodos que usan poblaciones o son multiarranque, permiten crear múltiples soluciones de inicio de buena calidad.</p> <p>Para la técnica heurística o metaheurística debe definirse: una codificación de las propuestas de solución, una función de adaptación y algunas o todas las restricciones. El proceso de optimización se desarrolla en el espacio de búsqueda. Se deben definir muy bien los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma de codificar las alternativas que aparecen en el espacio de búsqueda definido para el problema (el espacio de búsqueda puede contener únicamente soluciones factibles o puede incluir soluciones factibles e infactibles).</li> <li>• Forma en que se realizan las transiciones entre soluciones (estrategia de búsqueda de vecindad).</li> <li>• Forma de definir la función de adaptación.</li> <li>• Punto inicial (solución con la que se inicia el proceso)</li> <li>• Criterio de parada (normalmente el proceso finaliza cuando la solución actual no tiene una solución vecina de mejor calidad)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El punto inicial</li> <li>• El criterio de parada</li> </ul> <p>Las técnicas metaheurísticas a utilizar para el desarrollo del modelo serán Algoritmo Genético y Algoritmo de vecindad.</p>
---	--

### **Criterio de Búsqueda:**

Libro Técnicas Heurísticas y Metaheurísticas 2015 UTP.

Frase:

Heurísticas y metaheurísticas

Dirección (URL):

No Aplica

### **Documento 6.**

Título:

**Algoritmo Genético. (Libro Técnicas Heurísticas y Metaheurísticas).**

**Autores:**

*Gallego Ramón*

*Toro Eliana*

*Escobar Antonio*

**Año:**

2015

*Objetivo:*

*Describir el mecanismo de operacionalidad matemática del algoritmo genético como una técnica metaheurística para resolver modelos de optimización.*

### **Resumen (Qué, Cómo, Para Que).**

Se Presenta una descripción del algoritmo genético como metaheurística empleada para resolver modelos de optimización para las cuales técnicas exactas no resultan eficientes.

Dicha descripción se efectúa a través de la realización del paralelo del proceso de evolución de los genes mediante las etapas de selección, recombinación y mutación, con el ánimo de

encontrar soluciones más óptimas al problema de optimización recreando generaciones cada vez más cercanas al óptimo esperado.

### Análisis Crítico del Artículo:

<b>Metodología Presentada en el Artículo</b>	<b>Modelo propuesto en este trabajo de investigación</b>
<p>EL algoritmo genético es una técnica de búsqueda a través de configuraciones (vecindad) y que originalmente fue idealizado usando los mecanismos de la evolución y de la genética natural. Este algoritmo fue inventado por Holland en la década del 70.</p> <p>El algoritmo genético usa una población de individuos, que en los problemas combinatoriales representa un conjunto de configuraciones, para resolver un problema de optimización complejo. El algoritmo genético debe entonces hacer lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Representar un adecuadamente una configuración del problema. La representación más popular es la representación en codificación binaria donde se pueden simular fácilmente los operadores genéticos de recombinación y mutación.</li> <li>- Se debe encontrar una forma adecuada para evaluar la función objetivo o su equivalente (fitness). Así, se pueden identificar las configuraciones de mejor calidad como aquellas que tienen las funciones objetivo de mejor calidad (fitness Value).</li> <li>- Debe existir una estrategia de selección de las configuraciones con derecho a participar en la conformación de las nuevas</li> </ul>	<p>En nuestro trabajo de grado se tendrá en cuenta el algoritmo genético como base principal del modelo de optimización, se buscara con la aplicación del mismo, la optimización de la rentabilidad de las acciones componentes del portafolio mediante la función de minimización del riesgo del portafolio.</p> <p>Dentro del modelo se empleara como mecanismo de codificación el sistema binario, puesto que, este facilitara las etapas de recombinación y mutación.</p> <p>Es importante destacar que, los procesos de recombinación, así como, el de mutación, consisten en efectuar modificaciones sobre un elemento del vector K con N elementos, con el objetivo de establecer dos nuevos vectores y de esta manera obtener dos nuevas configuraciones candidatas a solución óptima.</p>

<p>configuraciones de la nueva población (nueva generación).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Debe existir un mecanismo que permita implementar el operador genético de recombinación.</li> <li>- Debe existir un mecanismo que permita implementar el operador genético de recombinación.</li> <li>- Debe existir un mecanismo que permita implementar el operador genético de mutación. (</li> <li>- Se debe especificar el tamaño de la población o sea el número de configuraciones en cada generación.</li> </ul>	
--	--

**Criterio de Búsqueda:**

- **Libro Técnicas Heurísticas y Metaheurísticas**

Facultad de Ingeniería eléctrica, Electrónica, Física y Ciencias de la computación, 2015.

Universidad Tecnológica de Pereira.

**Documento 7.**

Título:

**Capítulo 4. Aritmética y representación de la información en el computador.**

**Autores:**

*Gregorio Martín Quetglás*

*Francisco Toledo Lobo*

*Vicente Cerverón Lleó*

**Año:**

**2002**

*Objetivo:*

*Presentar los mecanismos empleados por las computadoras bajo los cuales codifican y operan de internamente para efectuar el procesamiento de la información.*

### Resumen (Qué, Cómo, Para Que).

Se Presenta una descripción de los sistemas de numeración en informática enfocada a la codificación y procesamiento de los datos por las computadoras, desarrolla de manera sistemática cada uno los métodos que actualmente son empleados.

### Análisis Crítico del Artículo:

Metodología Presentada en el Artículo	Modelo propuesto en este trabajo de investigación
<p><b>Sistema de numeración:</b></p> <p>Llamaremos sistema de numeración en base <b>b</b>, a la representación de números mediante un alfabeto compuesto por <b>b</b> símbolos o cifras. Así todo número se expresa por un conjunto de cifras, contribuyendo cada una de ellas con un valor que depende:</p> <p>a) de la cifra en sí, b) de la posición que ocupa dentro del número.</p> <p>En el sistema de numeración decimal, se utiliza, <b>b</b> = 10 y el alfabeto está constituido por diez símbolos, denominados también cifras decimales {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}</p> <p>Generalizando, se tiene que la representación de un número en una base <b>b</b>:</p> $N \equiv n_4 n_3 n_2 n_1 n_0 . n_{-1} n_{-2} n_{-3} \dots$ <p>Es una forma abreviada de expresar su valor, que es:</p> $N \equiv \dots n_4 b^4 + n_3 b^3 + n_2 b^2 + n_1 b^1 + n_0 b^0 + n_{-1} b^{-1}$ <p><b><u>En el sistema de numeración binario b</u></b> es 2, y se necesita tan sólo un alfabeto de dos elementos para representar cualquier número: {0,1}. Los elementos de este alfabeto se denominan cifras binarias o bits.</p>	<p>En nuestro trabajo de grado se tendrá en cuenta el sistema de numeración binario para la etapa de codificación de los números aleatorios para la generación de la primera población del algoritmo genético Etapa 1.</p> <p>Se empleara entonces como es presentado en el documento <b>b</b> es 2 y su estructura estará dada <math>\equiv \dots n_4 b^4 + n_3 b^3 + n_2 b^2 + n_1 b^1 + n_0 b^0 + n_{-1} b^{-1}</math></p> <p>Es importante mencionar que las conversiones al sistema binario, que se realizarán son enfocadas para convertir números decimales a números binarios, los cuales se encontrarán compuestos por 7 bits o cifras.</p>

--	--

- **Criterio de Búsqueda:**

www.google.com.co

- **Frase de Búsqueda:**

Fundamentos de informática y programación

- **URL:**

<http://robotica.uv.es/Libro/Indice.html>

**Documento 8.**

Titulo:

**Criterios y métodos para el análisis económico de las decisiones de inversión**

**Autores:**

*Fornero Ricardo A.*

**Año:**

*2007*

**Objetivo:**



*Presentar el desarrollo de histórico de las finanzas mediante la recopilación de las investigaciones y autores que aportaron y revolucionaron los conceptos de las finanzas.*

## Resumen

### (Qué, Cómo, Para Que).

Este documento tiene como propósito presentar de manera cronológica la evolución de los conceptos y estudios realizados en el campo de las finanzas, por lo anterior presentan de manera breve los distintos modelos y metodologías desarrolladas entre los años 1951 a 1969.

### Análisis Crítico del Artículo:

<b>Metodología Presentada en el Artículo</b>	<b>Modelo propuesto en este trabajo de investigación</b>
<p>Harry M. Markowitz (1927– , Premio Nobel de Economía 1990) Los inversores diversifican porque están preocupados por el riesgo tanto como por el rendimiento. La variancia me vino a la mente como una medida de riesgo. El hecho de que la variancia de la cartera depende de las covariancias de los títulos hizo que el enfoque me pareciera plausible. Si hay dos criterios, riesgo y rendimiento, era natural suponer que los inversores realizan su selección en el conjunto de combinaciones riesgo– rendimiento que cumplen el óptimo de Pareto.”</p>	<p>Los conceptos presetados por el autor en el presetne documento serán tenidos en cuenta para nuestro poryecto, en la construcción de los antecedentes de nuestra investigación, cabe mencionar que, para nuestro proyecto se efectuara un resumen de los propuesto de el documento.</p> <p>En 1952 Harry Markowitz propone un modelo en el cual se evalúa la selección de carteras de inversión realizando un comparativo entre riesgo y rendimiento, estructuró la evaluación de los riesgos a partir de la análisis de la varianza y la covarianza de los títulos</p>
<p>En 1956 Harry Markowitz plantea formalmente el problema en <i>The optimization of a quadratic function subject to linear constraints</i> (publicado por Naval Research Logistics Quarterly); es el primer paso para operativizar la selección de cartera cuyos principios había formulado en 1952. La aplicación de programación cuadrática a proyectos de inversión se plantea inicialmente en el artículo de S. Reiter <i>Choosing an investment program among interdependent projects</i> (publicado en 1963 por Review of Economic Studies).</p>	<p>En 1956 Harry Markowitz plantea el problema de optimización de una función cuadrática sujeta a restricciones lineales aplicado a los principios establecidos por él mismo en 1952</p>

<p>La formalización de Markowitz [ficha 1952] lleva a James Tobin (1918–2002, Premio Nobel de Economía 1981) a avanzar un paso en ese camino: agregando el dinero en el modelo se obtiene el teorema de la separación de Tobin (two-fund separation theorem). Tobin plantea que los individuos pueden diversificar sus inversiones entre un título sin riesgo (dinero) y una cartera única de títulos con riesgo (que es la misma para todos). Diferentes actitudes frente al riesgo resultan simplemente en diferentes combinaciones del título sin riesgo y de la cartera de títulos con riesgo.</p>	<p>Para 1958 James Tobin plantea el teorema de la separación de Tobin en el cual propone que las personas pueden diversificar sus inversiones en títulos con riesgo y sin riesgo, y que las actitudes frente al riesgo son simplemente combinaciones de carteras</p>
<p>William F. Sharpe (1934– , Premio Nobel de Economía 1990) “Markowitz tenía buenas ideas acerca del tema, y comencé a trabajar estrechamente con él en el análisis de cartera basado en un modelo simplificado de las relaciones entre los títulos.” “En el momento de la tesis denominé este análisis sugerido por Markowitz ‘modelo de un solo índice’ (single index model), si bien ahora se lo conoce como ‘modelo de un factor’ (one-factor model).” El supuesto básico es que los rendimientos de los títulos están relacionados sólo por sus respuestas a un factor común. Después de aprobada la tesis Sharpe prepara un artículo con los resultados normativos (<i>A simplified model for portfolio analysis</i>, 1963)</p>	<p>En 1963 William Sharpe a partir de la teoría de Markowitz en la selección de cartera se enfoca en un modelo simplificado de las relaciones entre los título llamado Modelo de mercado, o modelo de índice único o modelo de Sharpe, introduciendo una descomposición al riesgo de cualquier cartera que actualmente se conocen como betas</p>

<p>Jack Treynor en un artículo de 1965 publicado por Harvard Business Review, <i>How to rate management of investment funds</i>, propone que la evaluación del desempeño pasado se realice con un coeficiente similar, pero utilizando como medida de riesgo de la cartera el indicador que después se designa como ‘coeficiente beta’. El coeficiente de Sharpe es más general, ya que reconoce en la medida de desempeño el efecto del nivel de diversificación de la cartera.</p>	<p>Para el año 1965 Jack Treynor propone la evaluación del desempeño pasado utilizando como medida de riesgo de la cartera el indicador denominado coeficiente Beta, teniendo en cuenta la relación entre el riesgo y el rendimiento para evaluar el desempeño de una cartera</p>
<p>En el artículo <i>Mutual fund performance</i>, publicado por Journal of Business en 1966, William Sharpe (1934– ) presenta una medida del desempeño de los fondos de inversión que denomina ‘coeficiente de rendimiento a variabilidad’ (reward-to-variability ratio), <math>\frac{D}{\sigma D}</math> donde D es la diferencia media en un lapso entre el rendimiento del fondo y el rendimiento de una cartera que se utiliza como referencia, y <math>\sigma D</math> es el desvío estándar de esa diferencia.</p> <p>El coeficiente de Sharpe está basado en el enfoque de media y variancia de Markowitz, considerando que esos dos primeros momentos son suficientes para evaluar las perspectivas de una cartera de inversión. No refleja las diferencias entre carteras en otros momentos de la distribución de rendimientos, o “diferencias de resultados entre estados de la naturaleza que pueden estar asociados con diferentes niveles de utilidad del inversor”. El coeficiente se puede calcular en forma histórica, para evaluar el desempeño pasado, o en forma proyectada, ex ante, para decisiones de inversión.</p>	<p>1966 W. Sharpe plantea la medida de desempeño de una cartera de inversión (coeficiente de Sharpe) basado en el planteamiento de media y varianza de Markowitz con el fin de evaluar las perspectivas de una cartera de inversión, en este Sharpe plantea la utilización de una tasa libre de riesgo como referencia para evaluar el rendimiento. (Fornero, 2007a) “El coeficiente de Sharpe está diseñado para medir el rendimiento esperado por unidad de riesgo de una estrategia de inversión cero. La diferencia entre los rendimientos de dos inversiones muestra los resultados de una estrategia de esa forma. El coeficiente no se refiere al rendimiento de una sola inversión”</p>
<p>Michael Jensen utiliza la línea de rendimiento de mercado como referencia: es el rendimiento que tendría una inversión ‘pasiva’ (combinación de la cartera de mercado y el título sin riesgo) de similar riesgo que la cartera que se evalúa. La ecuación de rendimientos esperados se utiliza así para considerar los rendimientos pasados. La diferencia entre el rendimiento de la cartera y ese rendimiento de referencia es la medida alfa: <math>r_j = \alpha_j + r + (r_M - r) \beta_j</math>, donde se representa el rendimiento y el riesgo de la cartera que se evalúa con los subíndices j. La magnitud de alfa es el rendimiento diferencial de la cartera. Si <math>\alpha_P = 0</math> significa que la administración de la cartera</p>	<p>En 1968 Michael Jensen emplea la medida alfa fundamentado en el modelo de Sharpe para medir el desempeño de cartera, es decir el diferencial existente entre el rendimiento de la cartera y el rendimiento de la cartera de referencia (índice), estableciendo que si alfa=0 se comprende que la administración de cartera no ha generado ningún beneficio, y si el alfa&gt;0 evidencia la efectiva selección de los títulos de la cartera o de los momentos oportunos de las transacciones</p>

<p>no ha puesto de manifiesto ninguna habilidad especial, ya que el rendimiento de esa inversión 'activa' es similar al de una inversión 'pasiva', que replica al mercado. Y esto, antes del costo de administración de las inversiones. Un alfa mayor que cero en el período muestra el impacto que tiene en el rendimiento la habilidad para seleccionar los títulos de la cartera y/o el momento para realizar las transacciones. Sin embargo, en la medida del rendimiento diferencial en cada período se manifiesta también un componente de suerte.</p>	
---	--

**Criterio de Búsqueda:**

Documento facilitado por el director de Tesis.

**Documento 9.**

Título:

**Estrategia de inversión optimizando la relación rentabilidad-riesgo: evidencia en el mercado accionario Colombiano.**

**Autores:**

*Contreras Orlando*

*Brofman Roberto*

*Vecino Carlos*

**Año:**

2015

**Objetivo:**

*Presentar modelo de optimización de portafolios en la bolsa de valores colombiana, mediante la maximización de la rentabilidad basados en la teoría ratio de sharpe.*

## Resumen

### (Qué, Cómo, Para Que).

Se Presenta un modelo de optimización de portafolios en el cual se evalúa la rentabilidad de un portafolio del mercado, en contraste con la que sería obtenida mediante el modelo de optimización que maximice el ratio de Sharpe. Mediante la utilización de datos de la bolsa de valores colombiana y de esta manera construyen 12 portafolios con periodicidad semestral (2007-2012), los cuales son comparados con los índices reales de la bolsa de valores de Colombia, con el objetivo de demostrar la efectividad del modelo propuesto.

### Análisis Crítico del Artículo:

Metodología Presentada en el Artículo	Modelo propuesto en este trabajo de investigación
<p>Se realiza una prueba retrospectiva de una estrategia de inversión basada en la construcción de portafolios óptimos; para ello, se busca la maximización del ratio de Sharpe (SR) mediante un algoritmo que como solución óptima debe generar un conjunto de ponderadores óptimos de inversión <math>x_i</math> que maximicen la relación retorno esperado ajustado por riesgo, partiendo del retorno de cada acción <math>R_i</math> y sus respectivas desviaciones, varianzas y covarianzas.</p> $\text{Max SR} = \frac{R_p - r_f}{\sigma(R_p - r_f)}$ <p>donde: <math>R_p = \sum_{i=1}^n x_i E(R_i)</math> y <math>\sigma(R_p - r_f) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j \sigma_{ij}}</math></p> <p>sujeto a <math>0 \leq x_i \leq 1</math> y <math>\sum_{i=1}^n x_i = 1</math></p>	<p>Para nuestro trabajo de Grado, no será tenido el enfoque propuesto por los autores de artículo de realizar la maximización del portafolio a través del ratio de Sharpe. Sino que por el contrario se propondrá el ratio de Sharpe como una restricción del modelo de optimización propuesto, así mismo, cabe precisar que la expresión compuesta <math>\sigma = (R_p - R_f)</math> será evaluada a través de la volatilidad de la acción.</p>

### Criterio de Búsqueda:

- [www.google.com.co](http://www.google.com.co)

### Frase de Búsqueda:

- optimizando inversión

**URL:**

- <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.utp.edu.co/search?qs=optimizando%20inversion&show=25&sortBy=relevance>

**Documento 10.****Título:**

Algoritmo evolutivo para la optimización de portafolios de inversión.

**Autores:**

Plata Godínez Alan Gustavo

Rodríguez González Héctor

Vázquez Juárez Jorge Emyr

**Año:**

2014

**Objetivo:**

*Presentar modelo de optimización de portafolios en la bolsa de valores mexicana mediante la aplicación de técnicas de computación evolutiva multi-objetivo y cómputo paralelo, a través del modelo de Harry Markowitz (Markowitz, 1952)*

**Resumen**

**(Qué, Cómo, Para Que).**

Se Presenta un modelo de optimización de portafolios en el cual se busca la maximización de la rentabilidad a la vez que se busca la minimización del riesgo. Ante lo cual llevan a cabo la aplicación del modelo media-varianza propuesto Harry Markowitz (1952), ya que este modelo evalúa el riesgo por medio de la diversificación, en otras palabras, que la desviación estándar de los rendimientos sobre el portafolio sea menor que la suma de las desviaciones estándar provenientes de los activos de manera individual.

### **Análisis Crítico del Artículo:**

<b>Metodología Presentada en el Artículo</b>	<b>Modelo propuesto en este trabajo de investigación</b>
<p>El problema del conjunto-eficiente del MV es un problema de optimización multi-criterio (POM), el cual puede ser abordado utilizando el modelo de Análisis de Riesgo-Beneficio creado por Markowitz (MV), y se caracteriza por lo siguiente:            La variedad de alternativas de los instrumentos de inversión, y los porcentajes de inversión a ser asignados a cada uno de ellos, promueven que el espacio de búsqueda formado por sus posibles combinaciones crezca en forma exponencial            El MV básico es un problema de optimización cuadrática, para el cual existen algoritmos computacionalmente efectivos, pero que se restringen a considerar un objetivo y plantear el otro objetivo (u objetivos) como una restricción, o mediante la definición de una función lineal que incluye varios objetivos, utilizando para ello pesos o ponderaciones de la importancia de los objetivos, lo que implica experimentar con diferentes asignaciones de pesos.</p>	<p>En nuestra investigación no será tenido en cuenta el modelo propuesto por los autores del artículo.</p> <p>Sin embargo, es de precisar que nuestro modelo llevara a cabo la solución de optimización del portafolio a través del algoritmo genético como es desarrollado en el presente artículo, así mismo, cabe mencionar que mientras en el artículo promueven la optimización con única restricción ligada a la inversión, nuestro modelo presentara la optimización mediante el planteo de la solución objetivo minimización del riesgo sujeta a la restricción de rentabilidad y restricción de Inversión <math>&gt; 0</math>.</p>

$E(r_p) = \sum_{i=1}^n \omega_i E(r_i)$ <p>Ecuación 5: Rendimiento del portafolio máximo</p> $\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_i \times \omega_j \times \sigma_i \times \sigma_j$ <p>Ecuación 6: Riesgo del portafolio mínimo</p> <p>Sujeto a:</p> <p>Ecuación 2: Inversión Total</p> $\omega_i \geq 0$ <p>Donde:</p> <p><math>E(r_p)</math>: Es el beneficio esperado del portafolio p</p> <p><math>E(r_i)</math>: Es el beneficio esperado del instrumento financiero i</p> <p><math>\omega_i</math>: Es el porcentaje de inversión del instrumento financiero i</p> <p><math>\omega_j</math>: Es el porcentaje de inversión del instrumento financiero j</p> <p><math>n</math>: Es el número de instrumentos financieros incluidos en el portafolio</p> <p><math>\sigma_p^2</math>: Es el riesgo asociado al portafolio p</p>	
<p><b>Supuestos:</b></p> <p>La determinación de una buena solución al POM del MV contempla proponer al inversionista un conjunto de soluciones, pues en el MV se trabaja con supuestos como los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- No existen costos de transacción adicionales por la compra y venta de los instrumentos financieros, o por la modificación de la estructura de un portafolio (rebalanceo).</li> <li>- El mercado tiene la disponibilidad de los instrumentos financieros en todo momento.</li> <li>- No está preestablecido un límite de volumen mínimo o máximo de unidades a comprar o vender de un instrumento financiero (p. ej., unidades de compra-venta de valores).</li> <li>- No está preestablecido un límite de compra (o venta) mínimo o máximo para la cantidad de instrumentos financieros a comprar (o vender) (p. ej., umbral de compra).</li> <li>- No está preestablecido un límite del número mínimo o máximo de instrumentos financieros a incluir en el portafolio (p. ej., restricciones de cardinalidad).</li> <li>- No existen reglas de operación entre los instrumentos financieros, es decir que al</li> </ul>	<p>Es importante relacionar que los supuestos planteados por los autores del artículo serán adoptados en nuestro modelo de optimización, esto con el objetivo de llegar a la determinación de una buena solución.</p>



<p>comprar el instrumento financiero x no hay regla que diga que se debe adquirir también él y, o que al comprar el instrumento financiero x no se puede adquirir también él y.</p> <p>- No se permiten ventas en corto.</p>	
--	--

**Criterio de Búsqueda:**

- [www.google.com.co](http://www.google.com.co)

**Frase de Búsqueda:**

Algoritmo evolutivo + optimización de portafolios

**URL:**

- <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/21135/Algoritmo%20evolutivo%20para%20la%20optimizaci%C3%B3n%20de%20portafolios%20de%20inversi%C3%B3n.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

**Documento 11.****Título:**

OPTIMIZACIÓN DE CARTERAS DE INVERSIÓN MODELO DE MARKOWITZ Y ESTIMACIÓN DE VOLATILIDAD CON GARCH.

**Autores:**

Gálvez Patricio

Salgado Marcelo

Gutiérrez Mauricio

**Año:**

*Sin Fecha.*

**Objetivo:**

*Presentar la optimización de carteras de inversión mediante el modelo de Markowitz y estimación de la volatilidad con GARCH.*

**Resumen**

**(Qué, Cómo, Para Que).**

Se Presenta un modelo de construcción de portafolios de inversión empleando el modelo de conformación de cartera propuesto Markowitz, en el cual se propone un mecanismo distinto para medir la volatilidad del título mediante la aplicación del modelo Garch, para evaluar el desempeño de las acciones que presentan alta volatilidad en el mercado accionario de Santiago de Chile y esta manera realizar el contraste del mismo respecto índice IGPA.

**Análisis Crítico del Artículo:**

<b>Metodología Presentada en el Artículo</b>	<b>Modelo propuesto en este trabajo de investigación</b>
<p>El enfoque propuesto por Harry Markowitz, sobre la conformación de portafolios de inversión, revolucionó el campo de las finanzas, entregando principios, como el de portafolios eficientes, que están presentes en una gran cantidad de modelos de construcción de carteras, conservando de esta forma la esencia de la propuesta inicial.</p> <p>Un portafolio eficiente, según Markowitz, es aquel que tiene un mínimo riesgo, para un retorno dado o, equivalentemente un portafolio con un máximo retorno para un nivel de riesgo dado. Una de las formas de encontrar este conjunto de portafolios eficientes es a través del siguiente modelo, que sólo considera la minimización de la varianza del portafolio y</p>	<p>Para nuestro trabajo de Grado, será tenido el enfoque propuesto por los autores de artículo de realizar la selección de la cartera a través de la minimización del riesgo por lo cual se adoptara el modelo matemático propuesto para fase inicial de la selección.</p>

que corresponde al siguiente esquema de programación no lineal.

$$\text{Min } \sigma_c^2$$

*s / a*

$$\sum_{i=1}^N \bar{R}_i x_i = R$$

$$\sum_{i=1}^N x_i = 1$$

$$\text{donde } \sigma_c^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \sigma_{ij}$$

El rendimiento o retorno promedio, es la estimación del retorno esperado y que se expresa como:

$$\bar{R}_i = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T R_{i,t}$$

$R_{i,t}$  : es el retorno\* del activo  $i$  al tiempo  $t$ .

$T$  : es el período o ventana de tiempo sobre la cual se está considerando el rendimiento o retorno promedio.

La matriz de varianza covarianza representa toda la variabilidad y, por ende, el riesgo de los activos financieros. Su estimación precisa es fundamental en la determinación de la cartera eficiente en el modelo de media-varianza, ya que contiene la información acerca de la volatilidad de los activos financieros, así como de los comovimientos entre los mismos.

Una de las críticas al modelo es que no considera la volatilidad de una serie financiera suponiendo que la varianza es constante en el tiempo (homocedasticidad), por el contrario es muy frecuente la heterocidad, es

$$\text{Min } \sigma_c^2$$

*s / a*

$$\sum_{i=1}^N \bar{R}_i x_i = R$$

$$\sum_{i=1}^N x_i = 1$$

$$\text{donde } \sigma_c^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \sigma_{ij}$$

Sin embargo, no será tenido en cuenta la metodología de evaluación de la volatilidad a través del modelo GARCH ya se propondrá el ratio de Sharpe como una restricción del modelo de optimización propuesto, así mismo, cabe precisar que la expresión compuesta  $\sigma = (R_p - R_f)$  será evaluada a través de la volatilidad de la acción.

decir, la varianza tiene cambios sistemáticos en el tiempo.

se propone una formulación que es capaz de modelar la heterocedasticidad observada en las series de tiempo financieras. La posibilidad de entregar una previsión de la varianza condicional de este tipo de series, ya que la condicionalidad implicaba introducir en un modelo la información precedente en los mercados financieros y, por consiguiente, reflejar la conducta de los agentes de estos mercados, como la formación de expectativas en cuanto a los precios, trajo como consecuencia un enorme desarrollo para este tipo de formulaciones. El primero de estos modelos conocido como de Heterocedasticidad condicional autorregresiva o ARCH(q), fue formulado como

$$a_t = \sigma_t \varepsilon_t$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_i a_{t-i}^2$$

Donde  $\varepsilon_t \sim i.i.d(0,1)$ ,  $\alpha_0 > 1$ , y  $\alpha_i \geq 0$ ,  $i = 1, \dots, m$

**Criterio de Búsqueda:**

- [www.google.com.co](http://www.google.com.co)

**Frase de Búsqueda:**

- **Optimización De Carteras De Inversión**

**URL:**

- <http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/42/version%209-2/finanzas.pdf>