

**PROYECTO EN CURSO.**

Universidad	Universidad tecnológica de Pereira
Programa Académico	Ingeniería industrial
Nombre del Semillero	Semillero de ingeniería industrial
Nombre del Grupo de Investigación (si aplica)	GEIO
Línea de Investigación (si aplica)	Finanzas
Nombre del Tutor del Semillero	María Elena Bernal Loaiza
Email Tutor	<a href="mailto:mbernal@utp.edu.co">mbernal@utp.edu.co</a>
Título del Proyecto	Configuración de Algoritmos Genéticos para la Selección de Portafolios de Inversión en el Mercado de Capitales Colombiano.
Autores del Proyecto	Laura Milena Eraso Sabogal Yheferzon Andrés Giraldo Galvis Nathalia Suarez Selemin Juan Sebastián Arias Hernández Adriana María Santa Alvarado
Ponente (1)	Laura Milena Eraso Sabogal
Documento de Identidad	1094957338
Email	<a href="mailto:Laura0296@utp.edu.co">Laura0296@utp.edu.co</a>
Ponente (2)	Nathalia Suárez Selemin
Documento de Identidad	1088333237
Email	<a href="mailto:natsuarez@utp.edu.co">natsuarez@utp.edu.co</a>
Teléfonos de Contacto	3122352504 - 3116224082
Nivel de formación de los estudiantes ponentes (Semestre)	Noveno semestre de ingeniería industrial
MODALIDAD	PONENCIA
(seleccionar una- Marque con una x)	<input checked="" type="checkbox"/> Investigación en Curso
	<input type="checkbox"/> Investigación Terminada
Área de la investigación	
(seleccionar una- Marque con una x)	<input type="checkbox"/> Ciencias Naturales
	<input checked="" type="checkbox"/> Ingenierías y Tecnologías
	<input type="checkbox"/> Ciencias Médicas y de la Salud.
	<input type="checkbox"/> Ciencias Agrícolas
	<input type="checkbox"/> Ciencias Sociales
	<input type="checkbox"/> Humanidades
	<input type="checkbox"/> Artes, arquitectura y diseño

# Configuración de Algoritmos Genéticos para la Selección de Portafolios de Inversión en el Mercado de Capitales Colombiano.

## Autores

Laura Milena Eraso Sabogal<sup>1</sup>  
Yheferzon Andrés Giraldo Galvis<sup>2</sup>  
Nathalia Suarez Selemín<sup>3</sup>  
Juan Sebastián Arias Hernández<sup>4</sup>  
Adriana María Santa Alvarado<sup>5</sup>

## Resumen.

La conformación de portafolios de inversión es un problema que ha sido ampliamente abordado a través de diferentes enfoques a lo largo del tiempo, debido a su gran importancia en la estabilidad y desarrollo financiero de países, instituciones gubernamentales, empresas, etc. Sin embargo, la diversidad de mercados e instrumentos de inversión disponibles en la actualidad sumado a las limitaciones que surgen a partir de un perfil de inversión, hacen de la conformación de portafolios un problema combinatorial complejo que considera un gran número de variables y restricciones, por lo cual debe ser resuelto con técnicas potentes que permitan encontrar buenas soluciones en tiempos computacionales razonables.

El presente estudio hace uso del método de algoritmos genéticos, perteneciente a las técnicas metaheurísticas, para resolver el problema de conformación de portafolios de inversión en el mercado de valores colombiano de acuerdo a un perfil de inversión definido. Por lo tanto, éste estudio busca desarrollar, implementar y evaluar diferentes configuraciones en la construcción de un algoritmo genético para determinar cuál es la mejor configuración estudiada de dicho algoritmo y con esto realizar un aporte al uso de métodos cuantitativos para conformar portafolios, los cuales pueden ser útiles para complementar el uso de las técnicas tradicionalmente usadas en el país.

## Palabras clave

Selección de portafolios, configuración, algoritmos genéticos, perfil de inversión.

## Introducción.

La selección de portafolios de inversión es un problema difícil de resolver debido a la amplia gama de posibilidades que existen en el mercado. A lo largo del tiempo se han implementado diferentes métodos y técnicas para buscar el mejor portafolio de inversión, normalmente

---

<sup>1</sup> Ingeniería Industrial - VIII semestre – Estudiante - laura0296@utp.edu.co

<sup>2</sup> Ingeniería Industrial - VIII semestre – Estudiante - yefersongi@utp.edu.co

<sup>3</sup> Ingeniería Industrial - VIII semestre – Estudiante - natsuarez@utp.edu.co

<sup>4</sup> Ingeniería Industrial - Docente - jsarias@utp.edu.co

<sup>5</sup> Ingeniería Industrial – Docente - adriana.santa@utp.edu.co

entendido como aquel con mayor rentabilidad para un nivel de riesgo dado, tal como fue planteado por Harry Markowitz quien dio origen a la teoría moderna del portafolio (MPT) con su artículo *Portfolio Selection* publicado en el *Journal of Finance* en 1952. No obstante, esta definición ha evolucionado y ahora existen muchos más factores implicados en la selección de carteras de inversión, factores que se convierten en restricciones y que a su vez incrementan el nivel de dificultad del problema por lo cual la selección de portafolios se define como un problema combinatorial NP-HARD y por tanto, requiere métodos de solución capaces de arrojar buenos resultados en tiempos prudentes.

De esta manera, los algoritmos genéticos son una alternativa de solución que realiza búsquedas guiadas en un amplio espacio de soluciones, evitando la convergencia prematura en óptimos locales. Ésta búsqueda se hace a través de una secuencia de pasos que replica el comportamiento evolutivo de la naturaleza, basado en la teoría de la evolución de Darwin, donde cada posible solución al problema recibe el nombre de cromosoma, estos cromosomas se someten a un proceso de selección, combinación y mutación con el objetivo de generar nuevos cromosomas, llamados hijos, los cuales irán reemplazando los individuos anteriores si presentan un mejor valor para la función de adaptación [1], de esta manera los peores individuos desaparecerán de la población y se conservarán aquellos cromosomas con mejor función de aptitud; este proceso es iterativo y finaliza cuando el criterio de parada establecido se cumpla. Es así, como el problema de selección de portafolios puede ser modelado y codificado de tal manera que pueda ser resuelto a través de un algoritmo genético, obteniendo resultados, que si bien no son los óptimos globales, si son los mejores resultados encontrados hasta el momento (incumbente).

### **Planteamiento del problema**

Debido al poco dinamismo del mercado de capitales colombiano, al momento coyuntural que atraviesa el país actualmente y a las técnicas tradicionales, como el análisis técnico y fundamental, que son la única herramienta que muchos inversores utilizan para construir sus carteras de inversión; ahora más que nunca adquiere una gran importancia el estudio de técnicas cuantitativas que permitan conformar portafolios eficientes y que logren una mejor administración del riesgo permitiendo a los inversionistas tener mayor control sobre sus inversiones.

De esta manera, los algoritmos genéticos permiten resolver problemas combinatoriales como el de la selección de portafolios de inversión arrojando gran cantidad de soluciones posibles que buscan disminuir los niveles de riesgo y aumentar la rentabilidad. No obstante, los algoritmos genéticos poseen varios pasos que pueden configurarse de diferentes maneras y de estas configuraciones dependen los resultados, la calidad de estos y la rapidez con que se hallan los incumbentes. Es por esto que surge el problema de determinar cuál es la configuración más adecuada para los algoritmos genéticos al aplicarlos para resolver el problema de selección de portafolios bajo un perfil de inversión conservador diversificado en el mercado de capitales de Colombia, bajo las implicaciones que esto conlleva.

### **Justificación.**

Para cumplir con las características de diversificación y dar una solución alterna o complementaria al uso de técnicas tradicionales para la conformación de portafolios

conservadores, se implementa el método de algoritmos genéticos el cual permite encontrar soluciones a problemas combinatoriales complejos con un método de operación simple y aplicable a diversas áreas que utiliza una búsqueda inteligente guiada para escapar de soluciones consideradas como óptimos locales. Así, dadas las características propias del mercado colombiano y la complejidad del problema de relacionar los niveles de riesgo con la proporción de los activos que potencian la rentabilidad del portafolio y satisfacen las restricciones, es necesario estudiar la configuración de los algoritmos genéticos para determinar el que mejor se adapte al contexto y estructura del mercado de valores colombiano, y de esta manera, explorar nuevas alternativas para la conformación de portafolios en las que se propongan metodologías cuantitativas no tradicionales que permitan aportar al desarrollo del conocimiento en el sector económico y financiero del país.

## Objetivos

### Objetivo general

Evaluar la configuración de algoritmos genéticos para la conformación de un portafolio diversificado de acuerdo con un perfil de inversión conservador, en el mercado de capitales colombiano.

### Objetivos específicos

- Realizar una revisión del estado del arte sobre la conformación de portafolios a través de diferentes configuraciones de algoritmos genéticos.
- Proponer diferentes tipos de configuración y validarlas con respecto a su función objetivo y factibilidad.
- Implementar el algoritmo genético seleccionado para analizar cómo actúa la configuración sobre este código.
- Evaluar el desempeño de las configuraciones implementadas.

## Referente teórico

Harry Markowitz fue un economista estadounidense pionero de la Teoría Moderna del Portafolio (MPT). Para el desarrollo de esta teoría Markowitz se basó en el supuesto de que todo inversionista realiza una inversión con el objetivo de maximizar los rendimientos bajo un nivel de riesgo determinado, o de minimizar el riesgo con un nivel de rentabilidad mínima establecida, además, omite las imperfecciones de los mercados. De esta manera, el valor esperado de los rendimientos del portafolio  $E(r_p)$  y su varianza  $V(r_p)$  están dados por [1]:

$$E(r_p) = \sum_{i=1}^n \mu_i x_i$$
$$V(r_p) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j \sigma_{ij}$$

Dónde:

$\mu_i$  = Valor esperado de los retornos del activo  $i$

$x_i$  = Ponderación del activo  $i$  en el portafolio.

$\sigma_{ij}$  = Covarianza entre los rendimientos del activo  $i$  y  $j$

La ponderación, se refiere al porcentaje del capital disponible para la inversión que se asignará a un activo determinado, por lo cual  $\sum_{i=1}^n x_i = 1$  de tal manera que se asegure la total distribución de los recursos para la inversión; además, se debe cumplir  $x_i \geq 0$  ya que no es posible asignar un porcentaje negativo de inversión a un activo.

Si bien Harry Markowitz fue pionero en la investigación del problema de selección de carteras, muchas otras teorías han surgido a lo largo del tiempo. En 1958 el economista americano James Tobin propuso un cambio a la teoría de Markowitz, al sostener que no necesariamente todos los componentes de un portafolio deben tener riesgo, si no, que puede incluirse en la cartera la participación de un activo libre de riesgo, para el cual es comúnmente usado los títulos del tesoro americano y TES en el caso de Colombia. De esta manera, los inversionistas pueden invertir una parte del dinero en estos bonos y la otra parte en un portafolio compuesto con activos riesgosos. Este teorema dio las bases para otro gran aporte realizado a la teoría financiera unos años después.

Este nuevo aporte fue el modelo de valoración de activos de capital (CAPM) atribuido a William Sharpe en 1964, “establece que el rendimiento de un activo o portafolio es igual a la tasa libre de riesgo, más un premio por el riesgo que tiene ese instrumento o portafolio medido por el coeficiente beta” [3]. Esta medida de riesgo beta se refiere al riesgo del activo en función de la variación de sus retornos, los retornos del mercado y la prima de riesgo del mercado, que es la diferencia entre el rendimiento esperado del activo y el retorno del activo libre de riesgo. El modelo CAPM define el retorno esperado así [4]:

$$E(R_i) = R_f + \beta[E(R_m) - R_f]$$

Donde

$E(R_i)$ , es el valor esperado de los retornos del activo  $i$

$R_f$ , la tasa de rendimiento del activo libre de riesgo

$R_m$ , es el rendimiento del mercado

$\beta$ , es la medida de riesgo del activo y se calcula así:  $\beta = \frac{\sigma_{im}}{\sigma_m^2}$

$\sigma_{im}$ , es la covarianza entre los rendimientos del mercado y el activo.

$\sigma_m^2$ , es la varianza de los rendimientos del mercado.

Por otra parte, para resolver cualquier variante del problema de selección de portafolios expuestos anteriormente, e incluso otras propuestas en cuestión de medidas riesgo o condiciones de inversión, se requiere métodos potentes en la medida que las variables y las restricciones aumenten, convirtiéndose así en un problema combinatorial complejo. De esta manera, las técnicas metaheurísticas son una herramienta útil para abordar la conformación de portafolios y se pueden definir como “Un método de solución general que proporciona tanto una estructura general como criterios estratégicos para desarrollar un método heurístico específico que se ajuste a un tipo particular de problema” [5].

Los algoritmos genéticos (AG's) son el tipo de metaheurística que se estudiara e implementara en esta investigación. La creación de este método se le atribuye a John Holland finalizando la década de 1960, quien intentó aplicar los principios de la evolución natural para la resolución de problemas complejos en el campo del aprendizaje de máquinas, estos estudios y desarrollos se formalizaron en su libro “Adaptación en Sistemas Naturales y Artificiales” (1975) [6].

En el contexto de los AG's, cada solución factible de un problema se considera como un cromosoma codificado vectorialmente, esta codificación es específica y responde a los requerimientos del problema a tratar. El cromosoma está compuesto por un conjunto de genes, en donde cada gen puede tomar un valor de muchos valores posibles, y ésta elección responde al nombre de alelo.

El esquema general de un algoritmo genético se presenta a continuación:

<b>Codificación</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe establecer una codificación vectorial para el problema a tratar, que discretice el espacio de las variables de decisión (genes) del problema.</li> </ul>
<b>Generación de la población inicial</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La generación de la población inicial está sujeta al tamaño de la población <math>n</math> y ésta a su vez conserva una relación directa con el tiempo computacional (entre más grande sea el valor de <math>n</math>, mayor será su tiempo computacional).</li> <li>• La población inicial debe contar con diferentes cromosomas asociados de forma aleatoria a los que se les evalúa la factibilidad y la optimalidad.</li> </ul>
<b>Selección de padres</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se seleccionan los individuos de la población inicial que conformaran las parejas, los individuos (cromosomas) con mejor función de adaptación serán seleccionados para la reproducción.</li> </ul>
<b>Recombinación</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se transfieren las características (genes) de los padres hacia los hijos por medio de un cruce o recombinación, los puntos de recombinación son determinados por el investigador y la posición de estos puntos se genera de forma aleatoria. La descendencia reemplaza a los dos cromosomas más débiles o menos aptos de la población inicial y el proceso de seleccionar nuevos padres se realiza de nuevo.</li> </ul>
<b>Mutación</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se establece la tasa de mutación (<math>t_m</math>) como la probabilidad de que una característica heredada de un hijo mute hacia una característica diferente. La tasa de mutación es un referente de la frecuencia con la que se debe presentar la mutación en los individuos. Los puntos de mutación así como las posiciones a mutar dentro del cromosoma son determinados aleatoriamente.</li> </ul>
<b>Actualización</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se actualiza la población con los nuevos individuos encontrados.</li> </ul>
<b>Criterio de parada</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El investigador deberá definir el criterio de parada del modelo, generalmente dado por un número de iteraciones alcanzadas.</li> </ul>

Figura. Estructura de un algoritmo genético simple. Elaboración propia.

Dentro de la etapa de elaboración del estado del arte, se realizó el análisis de diferentes artículos que abordan el mismo tema de estudio, encontrando que los algoritmos genéticos pueden ser empleados de diversas maneras para resolver posibles variantes en el problema de selección de carteras. Un análisis inicial de los autores estudiados muestra que:

La medida de riesgo usada por Markowitz es la media- varianza, sin embargo, Wang, Hu y Dong [7] proponen una nueva medida de riesgo denominada déficit esperado ponderado (weighted expected shortfall- WES) y Tun-Jen Chang, Yang y Kuang-Jung Chang [8] utilizan las medidas de semivarianza, desviación absoluta media y varianza con asimetría mostrando la capacidad de los AG's para resolver diferentes variantes del modelo. Otros aportes importantes al modelo del problema son la adición de nuevas restricciones que ajustan el modelo a la realidad de las inversiones, Mamanis y Anagnostopoulos [9] agregan al modelo la restricción de cardinalidad que se refiere al número de activos deseados en el portafolio, Lin y Liu [10] incorporan la restricción de lotes mínimos de transacción y Soleimani, Golmakani y Salimi [11] además de la restricción de cardinalidad y lotes mínimos incluyen una restricción para la capitalización del sector. Por su parte, Zhang, Chen y Wang [13] y Xiaolou Yang [14] proponen un enfoque del problema en el que se consideran diferentes escenarios en el tiempo a través de un modelo estocástico.

## **Metodología**

La Investigación es de tipo experimental o causalística, puesto que se estudiarán los resultados obtenidos por un algoritmo genético producto del cambio o variación en algunos de sus componentes estructurales y parámetros. Para su desarrollo, la investigación emplea instrumentos de renta fija y renta variable listados en el Mercado de Valores de Colombia a través de sus datos históricos, de acuerdo con un perfil de inversión conservador diversificado.

El desarrollo de la investigación se fundamenta en etapas que a su vez se subdividen en fases.

### **ETAPA 1:** Realización del estado del arte.

- **Fase I:** Búsqueda de artículos review sobre el tema de estudio.
- **Fase II:** Búsqueda y profundización de los artículos o autores encontrados que usen algoritmos genéticos para la selección de portafolios de inversión.
- **Fase III:** Identificación del tipo de algoritmo genético que va a ser usado.
- **Fase IV:** Identificación de los elementos a configurar en el algoritmo genético seleccionado y que serán evaluados.

### **ETAPA 2:** Construcción de la población inicial.

- **Fase I:** Identificación de las características que posee un perfil de inversión conservador diversificado, en términos de la conformación de portafolio.
- **Fase II:** Reconocimiento y análisis de los diferentes instrumentos de inversión que conforman el mercado de capitales colombiano.

- **Fase III:** Identificación de los instrumentos de inversión que conformarán la población inicial del estudio.

**ETAPA 3:** Determinación del modelo de optimización a implementar.

- **Fase I:** Búsqueda de referentes de un modelo de optimización para el problema.
- **Fase II:** Selección del tipo de modelo a desarrollar para el problema propuesto.
- **Fase III:** Identificación de las variables de entrada para el modelo.
- **Fase VI:** Definición de la función objetivo y restricciones que serán implementadas.

**ETAPA 4:** Implementación del algoritmo a través del modelo seleccionado.

- **Fase I:** Ejecución y validación del modelo en el software R.

**ETAPA 5:** Evaluación de las configuraciones del algoritmo.

- **Fase I:** Definición de la cantidad de configuraciones a ser evaluadas y su respectiva caracterización.
- **Fase II:** Implementación de cada una de las configuraciones definidas.
- **Fase III:** Evaluación de los resultados obtenidos a través de pruebas de hipótesis.

**ETAPA 6:** Elaboración del artículo de investigación a partir de los resultados del presente trabajo.

### **Resultados esperados**

- Identificación de diferentes modelos, codificaciones y configuraciones de un algoritmo genético para el problema de conformación de portafolios.
- Determinación de las configuraciones del algoritmo genético a implementar.
- Conformación del portafolio de inversión con las diferentes configuraciones implementadas
- Definición de la mejor configuración encontrada para el problema de selección de portafolios.

### **Conclusiones Parciales**

En el estado del arte investigado hasta el momento se han encontrado aportes importantes sobre el modelo de optimización y las diferentes configuraciones utilizadas para resolverlo. Sin embargo, ninguno de los artículos consultados en esta etapa ha dirigido sus esfuerzos a la comparación de diferentes configuraciones de un mismo algoritmo lo que representa para el presente estudio un reto importante y un valor agregado en cuanto a su objeto de investigación. Es importante resaltar que en los artículos nacionales encontrados se hallaron diferentes metaheurísticas implementadas para la solución del problema en el mercado colombiano, no obstante el método de algoritmos genéticos no ha sido estudiado a profundidad al presentar una menor frecuencia de uso, con un solo resultado encontrado.



Por otra parte, la mayoría de los artículos buscan construir portafolios conformados exclusivamente por instrumentos del mercado de renta variable, lo que representa otra ventaja para este estudio el cual busca incorporar instrumentos de renta fija y renta variable para satisfacer los criterios de un portafolio conservador diversificado.

## **Impactos**

### **Impactos económicos**

- Se espera que el algoritmo genético minimice los niveles de pérdidas económicas al que cualquier inversor (persona natural o empresa) se enfrenta dadas las condiciones de incertidumbre naturales de los mercados financieros, proporcionando sostenibilidad y competitividad en las operaciones bursátiles.
- La posibilidad de optimizar portafolios de inversión representa una propuesta para atraer inversionistas y así dinamizar el mercado de capitales colombiano en pro del crecimiento y desarrollo económico del País.

### **Impactos Sociales**

El objetivo puntual para la presente investigación es generar conocimiento, fortaleciendo de manera transversal los lazos que promueven e impulsan la economía, ya que se cree que al fortalecer dichos lazos crea un impacto tal en Colombia que hace que todas las esferas del país cambian de manera positiva; puesto que al generar conocimiento y fortalecer la investigación se crean nuevas herramientas útiles para las empresas y genera nuevos conocimientos para la sociedad en educación financiera.

### **Impacto ambiental**

Los resultados del presente trabajo en el ámbito ambiental no son nocivos, puesto que no existe impacto significativo en el medio ambiente ya que el estudio se enmarca en un sistema de negociación intangible.

## **Bibliografía**

- [1] M. Granada. Algoritmos evolutivos y técnicas bioinspiradas – de la teoría a la práctica. 2013.
- [2] H. Markowitz, “Portfolio selection,” J. Finance, vol. 7, no. 1, pp. 77–91, 1952.
- [3] A. de Lara Haro, *Medición y control de riesgos financieros*, 3° ed. México D.F: Limusa, 2007
- [4] J. Alonso & L. Berggrum, *Introducción al análisis de riesgo financiero*, 1° ed. Cali: Universidad ICESI, 2008.
- [5] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, *Introducción a la Investigación de operaciones*, vol. 53, no. 9. 2010.

- [6] J. H. Holland, "Genetic Algorithms - Computer programs that 'evolve' in ways that resemble natural selection can solve complex problems even their creators do not fully understand," *Sci. Am.*, pp. 66–72, 1992.
- [7] W. Wang, J. Hu, and N. Dong, "A Convex-Risk-Measure Based Model and Genetic Algorithm for Portfolio Selection," vol. 2015, no. I, 2015
- [8] T.-J. Chang, S.-C. Yang, and K.-J. Chang, "Portfolio optimization problems in different risk measures using genetic algorithm," *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 7, pp. 10529–10537, 2009.
- [9] K. P. Anagnostopoulos and G. Mamanis, "The mean-variance cardinality constrained portfolio optimization problem: An experimental evaluation of five multiobjective evolutionary algorithms," *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 11, pp. 14208–14217, 2011.
- [10] C. C. Lin and Y. T. Liu, "Genetic algorithms for portfolio selection problems with minimum transaction lots," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 185, no. 1, pp. 393–404, 2008.
- [11] H. Soleimani, H. R. Golmakani, and M. H. Salimi, "Markowitz-based portfolio selection with minimum transaction lots, cardinality constraints and regarding sector capitalization using genetic algorithm," *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 3 PART 1, pp. 5058–5063, 2009
- [12] L. Yu, S. Wang, and K. K. Lai, "Multi-Attribute Portfolio Selection with Genetic Optimization Algorithms," *INFOR Inf. Syst. Oper. Res.*, vol. 47, no. 1, pp. 23–30, 2009.
- [13] W. Zhang, W. Chen, and Y. Wang, "The Adaptive Genetic Algorithms for Portfolio Selection Problem," vol. 6, no. 1, pp. 196–200, 2006.
- [14] X. Yang, "Improving portfolio efficiency: A Genetic Algorithm approach," *Comput. Econ.*, vol. 28, no. 1, pp. 1–14, 2006.