

**Construcción de un portafolio bajo optimización dinámica con
análisis de stress de un fondo mutual del sector transporte**

Yulian Alberto Correa L. y Jorge Humberto Mayorga S.

Yulian Alberto Correa L. y Jorge Humberto Mayorga S.

Construcción de un portafolio bajo optimización dinámica con análisis de stress de un fondo mutual del sector transporte

Resumen: *El propósito de este trabajo es construir un portafolio con las acciones más líquidas de la Bolsa de Valores de Colombia (BVC) utilizando la optimización dinámica y, así mismo, mirar el efecto que el COVID ha tenido sobre el rendimiento de dicho portafolio. El periodo de estudio está comprendido entre enero de 2016 y mayo de 2021 y se tomaron las acciones de PFBCOLOM, ECOPETROL, BCOLOMBIA, GRUPOARGOS, ISA, NUTRESA, PFAVAL y ÉXITO. Para cada una de estas acciones se establece la mejor distribución de los rendimientos y se ejecuta el proceso de optimización dinámica en cada uno de los portafolios, con lo cual se estableció la óptima participación de las acciones dentro de cada uno de los cuatro conjuntos; seguidamente, se aplica un proceso de stress a cada portafolio y se determina la mayor pérdida posible expuesta bajo esta metodología. Se concluye que, cuando los portafolios son perturbados por un proceso de stress que contemplan el periodo COVID, presentan un mayor VaR e incrementan el resultado de otras medidas, con lo cual se aumenta el riesgo de exposición para los inversionistas.*

Palabras clave: *Selección de portafolio, Optimización dinámica, Simulación, Bolsa de Valores de Colombia, COVID.*

Clasificación JEL: *G1, G11, O16*

Construction of a portfolio under dynamic optimization with stress analysis of a mutual fund of the transport sector

Abstract: *The purpose of this work is to build a portfolio with the most liquid shares of the Colombian Stock Exchange (BVC) using dynamic optimization, likewise, to look at the effect that COVID has had on the performance of said portfolio. The study period is between January 2016 and May 2021 and the actions of PFBCOLOM, ECOPETROL, BCOLOMBIA, GRUPOARGOS, ISA, NUTRESA, PFAVAL and ÉXITO were taken. For each of these actions, the best distribution of returns is established and the dynamic optimization process is executed in each of the portfolios, with which the optimal participation of the actions within each of the four sets was established, then a stress process is applied to each portfolio and the greatest possible loss exposed under this methodology is determined. It is concluded that when portfolios are disturbed by a stress process that includes the COVID period, they present a higher VaR and increase the result of other measures, thereby increasing the risk of exposure for investors.*

Key words: *Portfolio selection, Dynamic optimization, Simulation, Colombian Stock Exchange, COVID.*

JEL Classification: *G1, G11, O16*

Construction d'un portefeuille sous optimisation dynamique avec analyse de stress d'un fonds commun de placement du secteur des transports

Résumé: *Le but de ce travail est de construire un portefeuille avec les actions les plus liquides de la Bourse colombienne (BVC) en utilisant l'optimisation dynamique, de même, pour examiner l'effet que COVID a eu sur la performance dudit portefeuille. La période d'étude se situe entre janvier 2016 et mai 2021 et les actions de PFBCOLOM, ECOPETROL, BCOLOMBIA, GRUPOARGOS, ISA, NUTRESA, PFAVAL et EXITO ont été menées. Pour chacune de ces actions, la meilleure répartition des rendements est établie et le processus d'optimisation dynamique est exécuté dans chacun des portefeuilles, avec lequel la participation optimale des actions au sein de chacun des quatre ensembles a été établie, puis un processus de stress est appliqué à chaque portefeuille et la plus grande perte possible exposée selon cette méthodologie est déterminée. Il est conclu que lorsque les portefeuilles sont perturbés par un processus de stress qui inclut la période COVID, ils présentent une VaR plus élevée et augmentent le résultat d'autres mesures, augmentant ainsi le risque d'exposition pour les investisseurs.*

Mots clés: *Sélection de portefeuille, Optimisation dynamique, Simulation, Bourse colombienne, COVID.*

Classement JEL: *G1, G11, O16*

Construcción de un portafolio bajo optimización dinámica con análisis de stress de un fondo mutual del sector transporte

Yulian Alberto Correa L.¹ y Jorge Humberto Mayorga S.²

-Introducción –I. Marco conceptual –II. Metodología –III. Análisis de resultados –IV. Conclusiones –Agradecimientos –Referencias

Introducción

El trabajo de Markowitz (1952) expresa que los inversionistas analizan de manera racional la selección de los activos que integraran el portafolio deseado, el cual se espera que genere un retorno adecuado para el riesgo incurrido. Sin embargo, la construcción de los posibles conjuntos de activos es uno de los desafíos constantes a que se enfrentan los inversionistas y, por ende, las empresas, que esperan maximizar los excedentes de caja con el menor riesgo posible. En este trabajo no solo se busca construir el portafolio óptimo, sino que busca aplicar también una serie de pruebas de análisis de stress, que permitan determinar de una manera más clara las posibles pérdidas en que los dueños del capital puedan incurrir.

En Colombia, el sector Cooperativo de transporte poco ha incursionado en temas de inversión a través de portafolios, dado que están más enfocados en el desarrollo de su actividad transportadora. Es por ello que estas sociedades en el cumplimiento de brindar calidad de vida a sus integrantes, no han visto la necesidad de aplicar herramientas de inversión, que permitan la consecución y el logro de los objetivos sociales. Es así como se hace necesario e imperativo el desarrollo de este tema y, para nuestro caso, el fondo mutual de la Cooperativa de Occidente funciona como una póliza interna todo riesgo, que ampara el parque automotor vinculado a la persona jurídica, en caso de accidentes de tránsito y hurto. Por lo cual, se hace necesario la construcción óptima del portafolio con recursos del fondo mutual, los cuales han sido aportados de manera directa por los asociados de la Cooperativa.

¹ Yulian Alberto Correa López: Estudiante MAF, Departamento de Finanzas, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. Dirección electrónica: yacorreal@eafit.edu.co <https://orcid.org/0000-0003-4904-672>

² Jorge Humberto Mayorga Sánchez: Estudiante MAF, Departamento de Finanzas, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. Dirección electrónica: jhmayorgas@eafit.edu.co <https://orcid.org/0000-0003-3857-3309>

Mediante la aplicación de la teoría de Markowitz (1952), se realizará la construcción del portafolio óptimo con las acciones más líquidas de la Bolsa de Valores de Colombia de los últimos cinco años. De esta manera, el portafolio cumplirá con las expectativas de rentabilidad y riesgo, pero más allá de ello, mediante las diferentes pruebas de análisis de stress, se logrará determinar la adecuada liquidez y disponibilidad del recurso, para que el fondo mutual pueda cumplir a cabalidad con el principal objetivo de amparar los activos productivos de los asociados de la Cooperativa.

Torres (2019) muestra la importancia de los fondos mutuales en el desarrollo del país y especialmente en la consecución de los objetivos mutuos en el desarrollo económico, particularmente en la consecución de los objetivos mutuos de los asociados que lo integran. Por otra parte, Salazar et al. (2020) expresan que tanto el sector cooperativo y el mutual son una forma de organización social, que busca obtener fines comunes que de manera individual no se lograrían, ya que, la consecución de los mismos se logra con el esfuerzo y recursos de quienes se integran. Castillo et al. (2020) y Leal (2020) argumentan que las cooperativas revisten cada vez mas importancia en el mercado, con lo cual sus asociados directivos deben adaptarse a entornos dinámicos, quienes toman decisiones con información amplia, contradictoria y cambiante. Es así como se sustenta la importancia del Cooperativismo en el desarrollo de la economía de un sector y en especial de un país como el nuestro, que necesita el apoyo de todo tipo de entidades para avanzar en la productividad económica. Finalmente, Elgezabal (2021) dice que una de las características importantes del cooperativismo es poder constituir fondos con recursos y fines específicos, diseñando su aplicabilidad mediante un reglamento que excluye los recursos de la gestión normal de los administradores . Con esto se denota la importancia del fondo mutual de transportes y accidentes que se administra al interior de la Cooperativa.

I. Marco conceptual

La teoría de portafolio se fundamenta en que toda inversión debe tener en cuenta el rendimiento y el riesgo del o los activos que lo conformen, donde la distribución de los retornos se utiliza para estimar el rendimiento esperado, mientras que la desviación estándar de los rendimientos se utiliza como una medida de riesgo. Markowitz (1952) demostró que los inversionistas poseen una conducta racional al momento de construir un portafolio de

inversión y es así como su objetivo final es obtener la máxima rentabilidad posible asumiendo el menor riesgo.

Para la construcción de un portafolio, la eficiencia de este se constituye con base en un conjunto específico de activos de inversión, como es el caso de acciones y bonos, entre otros. Lo anterior, argumentado en la generación de lograr la tasa más alta de rentabilidad, enfocándose en un nivel de riesgo deseado. Es así como la teoría desarrollada por Markowitz (1952) es la pieza fundamental en la que se basa la teoría de cartera, siendo esta un conjunto de aportaciones teóricas que se han dado a través de los tiempos, buscando resolver el conflicto que se da al tener que ponderar la participación de cada activo dentro del portafolio. El trabajo de Becker et al. (2015), Lee (2019), Gómez & Jiménez (2020) y Naccarato et al. (2021) son una muestra de la validez del proceso dentro de la búsqueda de un portafolio eficiente en países de economías emergentes.

La teoría moderna de portafolio busca la manera de entender el papel del inversor dentro de la construcción del portafolio, por lo que analiza de manera particular, la aversión del riesgo de este frente al mercado. Pagnoncelli et al. (2021), Dhaini & Mansour (2021) y Xin & Ding (2021) sostienen que la teoría de Markowitz (1952) es planteada como un modelo basado en la construcción de un portafolio de inversión, dados la rentabilidad y riesgos esperados y asumidos por el inversionista. Adicionalmente, Massahi et al. (2020) y Salazar (2020) expresan que la teoría de Markowitz (1952) es el marco de optimización de carteras más populares, establecido sobre la base de la compensación entre riesgo y rendimiento, como modelo de investigación de operaciones.

Gómez & Jiménez (2020), Salazar et al. (2020), Newton et al. (2021) y Yue et al. (2021) expresan que Markowitz (1952) propone la selección de portafolio como un modelo de dos objetivos y enfatiza la computación de conjuntos eficientes (completos) y conjuntos no dominados. Por lo tanto, calcular los conjuntos ha sido durante mucho tiempo un tema de optimización de objetivos múltiples, es así como para seleccionar las acciones a invertir, se deben considerar la liquidez, rentabilidad y riesgo de cada uno de los activos que la conforman. Por otra parte, Parejo et al. (2020), MacQueen (2020) y Ünlü & Xanthopoulos (2021) manifiestan que la teoría de Markowitz (1952) logra identificar la cartera más eficiente, a través de la solución de un problema de optimización, y describe la eficiencia

como la cantidad mínima de riesgo para un rendimiento esperado, manteniendo la liquidez y siendo eficiente en el manejo del riesgo frente al retorno.

II. Metodología

Se estudiaron y analizaron las acciones que cotizan en la Bolsa de Valores de Colombia (BVC), la cual está compuesta por un total de 26 acciones. Acciones que conformaban el índice COLCAP y que a partir del 27 de mayo de 2021 pasó a llamarse MSCI COLCAP. La tabla 1 muestra estas acciones, donde, el 50% del índice está compuesto por las acciones de Bancolombia, Ecopetrol e ISA.

Tabla 1. *Composición índice MSCI COLCAP*

	Nemotécnico	Descripción	Peso
1	PFBCOLOM	BANCOLOMBIA S.A.	15,03%
2	ISA	INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A. E.S.P.	10,81%
3	ECOPETROL	ECOPETROL S.A.	13,36%
4	GEB	GRUPO ENERGÍA DE BOGOTÁ S.A. E.S.P.	8,25%
5	BCOLOMBIA	BANCOLOMBIA S.A.	8,37%
6	NUTRESA	GRUPO NUTRESA S.A.	5,33%
7	GRUPOSURA	GRUPO INVERSIONES SURAMERICANA	5,26%
8	PFAVAL	GRUPO AVAL ACCIONES Y VALORES	4,97%
9	GRUPOARGOS	GRUPO ARGOS S.A.	3,72%
10	BOGOTÁ	BANCO DE BOGOTÁ S.A.	1,68%
11	PFDVVNDA	BANCO DAVIVIENDA S.A.	3,63%
12	CORFICOLCF	CORPORACIÓN FINANCIERA COLOMBIANA S.A.	3,20%
13	CEMARGOS	CEMENTOS ARGOS S.A.	2,83%
14	CELSIA	CELSIA S.A. E.S.P.	2,40%
15	PFGRUPSURA	GRUPO INVERSIONES SURAMERICANA	2,31%
16	PFGRUPARG	GRUPO ARGOS S.A.	2,14%
17	PROMIGAS	PROMIGAS	1,04%
18	CNEC	CANACOL ENERGY LTD	1,65%
19	PFCEMARGOS	CEMENTOS ARGOS S.A.	0,93%
20	MINEROS	MINEROS S.A.	0,45%
21	TERPEL	TERPEL	0,33%
22	PFCORFICOL	CORPORACIÓN FINANCIERA COLOMBIANA S.A.	0,40%
23	BVC	BOLSA DE VALORES DE COLOMBIA	0,44%
24	GRUBOLIVAR	GRUPO BOLÍVAR S.A.	1,35%
25	ETB	EMPRESA DE TELÉFONOS DE BOGOTÁ S.A. E.S.P.	0,10%
26	ÉXITO	ALMACENES ÉXITO S.A.	0,00%

Fuente: Tomado de la Bolsa de Valores de Colombia (BVC), mayo de 2021.

Las acciones para la composición del portafolio fueron seleccionadas teniendo en cuenta el volumen de transacción en el periodo comprendido entre enero de 2016 y 3 de agosto de 2021. Es decir, se buscó crear un portafolio que presente la mejor liquidez del mercado accionario colombiano y, de igual manera, tener una inversión diversificada con acciones (ver tabla 2) no directamente correlacionadas de manera positiva.

Tabla 2. *Ranking de acciones de acuerdo a volumen transaccional*

RANKING	oct-16	oct-17	oct-18	oct-19	oct-20	may-21	
ACCIONES	1	PFBCOLOM	PFBCOLOM	ECOPETROL	ECOPETROL	ÉXITO	PFBCOLOM
	2	ECOPETROL	BCOLOMBIA	PFBCOLOM	PFBCOLOM	PFBCOLOM	ISA
	3	ÉXITO	ECOPETROL	GRUPOSURA	GRUPOSURA	ECOPETROL	ECOPETROL
	4	GRUPOSURA	ÉXITO	BCOLOMBIA	BCOLOMBIA	PFAVAL	GEB
	5	PDFDAVVNDA	GRUPOSURA	CEMARGOS	CEMARGOS	ISA	BCOLOMBIA
	6	CEMARGOS	PDFDAVVNDA	PFAVAL	ISA	BCOLOMBIA	NUTRESA
	7	PFGRUPSURA	CORFICOLCF	ÉXITO	GRUPOARGOS	GRUPOSURA	GRUPOSURA
	8	BCOLOMBIA	GRUPOARGOS	GRUPOARGOS	PFAVAL	GRUPOARGOS	PFAVAL
	9	GRUPOARGOS	PFAVAL	PDFDAVVNDA	PDFDAVVNDA	CEMARGOS	GRUPOARGOS
	10	PFAVAL	PFGRUPSURA	ISA	ÉXITO	PDFDAVVNDA	BOGOTA
	11	NUTRESA	ISA	PFGRUPSURA	GEB	GEB	PDFDAVVNDA
	12	CLH	CEMARGOS	NUTRESA	NUTRESA	PFGRUPSURA	CORFICOLCF
	13	CORFICOLCF	CLH	CORFICOLCF	PFGRUPSURA	NUTRESA	CEMARGOS
	14	PFAVH	NUTRESA	EEB	CORFICOLCF	CNEC	CELSIA
	15	ISA	PFGRUPOARG	PFGRUPOARG	PFAVH	CORFICOLCF	PFGRUPSURA
	16	PFCEMARGOS	PFAVH	CLH	PFGRUPOARG	PFCORFICOL	PFGRUPOARG
	17	PFGRUPOARG	PFCEMARGOS	PFAVH	CELSIA	CELSIA	PROMIGAS
	18	CELSIA	CNEC	CELSIA	CLH	PFGRUPOARG	CNEC
	19	CNEC	EEB	PFCEMARGOS	CNEC	BOGOTA	PFCEMARGOS
	20	EEB	CELSIA	ETB	PFCEMARGOS	MINEROS	MINEROS
	21	BVC	BOGOTA	CNEC	BOGOTA	PFCEMARGOS	TERPEL
	22	ETB	ETB	BOGOTA	PROMIGAS	BVC	PFCORFICOL
	23	BOGOTA	GRUPOAVAL	GRUPOAVAL	BVC	ETB	BVC
	24	GRUPOAVAL	PROMIGAS	CONCONCRET	MINEROS	PROMIGAS	GRUBOLIVAR
	25	CONCONCRET	CONCONCRET	BVC	ETB	TERPEL	ETB

Fuente: Tomado de la Bolsa de Valores de Colombia (BVC), mayo de 2021.

Tomando como referencia la tabla 2, se seleccionan las 8 acciones más transadas en el período de estudio, PFBCOLOM, ECOPETROL, BCOLOMBIA, GRUPOARGOS, ISA, NUTRESA, PFAVAL y ÉXITO. Adicionalmente, se estructura un segundo portafolio con base en las acciones más rentables, en este caso, ECOPETROL, BCOLOMBIA, ISA y ÉXITO. Dentro del trabajo se pretende mirar el impacto que el COVID ha podido tener sobre el portafolio, por lo tanto,

la estructuración de estos dos portafolios se hace con dos periodos de tiempo, el primero que va desde enero de 2016 al 3 de agosto de 2021, mientras que el segundo va de enero de 2016 a diciembre de 2020. Así, en cada portafolio se deberá ejecutar el proceso de optimización dinámica con fechas que contemplen el periodo de COVID y no COVID, como lo muestra la tabla 3.

Tabla 3. *Rango de fechas de portafolios conformados*

Portafolio	Fechas Inicio	Fecha final	Datos muestrales
8 acciones con COVID	01 enero de 2016	03 de agosto de 2021	1.457
8 acciones sin COVID	01 enero de 2016	31 de marzo de 2020	1.107
4 acciones con COVID	01 enero de 2016	03 de agosto de 2021	1.457
acciones sin COVID	01 enero de 2016	31 de marzo de 2020	1.107

Fuente: Elaboración propia.

Seleccionados los cuatro portafolios de inversión y teniendo en cuenta las variables de liquidez y correlación, se procede a escoger la optimización adecuada, que consiste básicamente en encontrar la mejor rentabilidad con el mínimo de riesgo para cada portafolio. El contexto del estado del arte plantea que existen tres alternativas de optimización: la primera es la estática, que brinda una alternativa de asignación en el peso de los activos dentro del portafolio sin valorar la rentabilidad-riesgo. La segunda es la dinámica, que realiza la simulación estática y posteriormente aplica N simulaciones a los valores obtenidos, logrando de esta manera la conformación óptima, tanto en rentabilidad como en riesgo para el portafolio. Y la tercera es la estocástica, que realiza una optimización para cada variable del portafolio, con lo cual se obtendría un rango óptimo por variable. De las tres mencionadas, se considera que la optimización dinámica cumple eficientemente con el objetivo planteado en el trabajo, dado que determina el peso óptimo de cada activo dentro del portafolio y, de igual manera, calcula la mejor distribución para los rendimientos. Adicionalmente, la optimización dinámica garantiza de acuerdo a los rendimientos de cada activo, una combinación óptima en participación, rentabilidad y riesgo en la conformación del portafolio.

III. Análisis de resultados

Para el análisis de los portafolios, se toman los precios de cierre de las acciones seleccionadas de cada uno de los portafolios de inversión, en un rango de fechas comprendido entre enero de 2016 y julio de 2021, con lo cual se obtuvieron 1.457 datos. Sin embargo, en ambos portafolios se retiran los datos comprendidos desde el 01 de abril de 2021 en adelante, es decir, sacar de la muestra poblacional todo el ruido o afectación que pudo causar el COVID en los rendimientos de los portafolios, lo cual redujo los datos muestrales a 1.107 por acción.

Los rendimientos fueron calculados de manera continua, así:

$$R_i = \text{Log}\left(\frac{P_i}{P_{i-1}}\right) \quad (1)$$

Donde R_i es la rentabilidad del día y P_i es el precio de la acción del día.

Posteriormente, se calculan los rendimientos de los cuatro portafolios con un ajuste de distribución múltiple, logrando tener la mejor distribución (ver tabla 4) que explique el comportamiento de los rendimientos de cada una de estas acciones.

Tabla 4. Mejor distribución múltiple

Nemotécnico	8 Acciones COVID	8 Acciones
PFBCOLO	Laplace	Laplace
BCOLO	Laplace	Logística
ECOPETL	Cauchy	Cauchy
GRUPOARG	Cauchy	Laplace
ISA	Cauchy	Cauchy
NUTRESA	Laplace	Laplace
PFAVAL	Laplace	Laplace
EXITO	Cauchy	Logística
	4 Acciones COVID	4 Acciones
BCOLO	Laplace	Logística
ECOPETL	Cauchy	Cauchy
ISA	Cauchy	Cauchy
EXITO	Cauchy	Logística

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

Al calcular las respectivas matrices de varianza y covarianza, se puede observar que los diferentes activos que conforman los portafolios de inversión, cumplen con la diversificación buscada desde el inicio para el conjunto de activos en los diferentes portafolios de inversión.

A continuación, la tabla 5 presenta la matriz de varianza y covarianza para los rendimientos de un portafolio de inversión conformado por 8 activos con periodo COVID.

Tabla 5. *Matriz de varianza y covarianza para un portafolio de 8 acciones con COVID*

	PFBCOLO	BCOLO	ECOPETL	GRUPOARG	ISA	NUTRESA	PFAVAL	EXITO
PFBCOLO	0,00032	0,00029	0,00018	0,00020	0,00014	0,00007	0,00014	0,00004
BCOLO	0,00029	0,00040	0,00019	0,00023	0,00017	0,00007	0,00018	0,00005
ECOPETL	0,00018	0,00019	0,00052	0,00022	0,00012	0,00008	0,00014	0,00006
GRUPOARG	0,00020	0,00023	0,00022	0,00053	0,00018	0,00012	0,00020	0,00005
ISA	0,00014	0,00017	0,00012	0,00018	0,00033	0,00007	0,00012	0,00004
NUTRESA	0,00007	0,00007	0,00008	0,00012	0,00007	0,00014	0,00006	0,00003
PFAVAL	0,00014	0,00018	0,00014	0,00020	0,00012	0,00006	0,00025	0,00004
EXITO	0,00004	0,00005	0,00006	0,00005	0,00004	0,00003	0,00004	0,00032

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

En contraposición, la tabla 6 presenta la matriz de varianza y covarianza para los rendimientos del portafolio de inversión conformado por 8 activos sin COVID.

Tabla 6. *Matriz de varianza y covarianza para un portafolio de 8 acciones sin COVID*

	PFBCOLO	BCOLO	ECOPETL	GRUPOARG	ISA	NUTRESA	PFAVAL	EXITO
PFBCOLO	0,00028	0,00026	0,00017	0,00019	0,00012	0,00006	0,00014	0,00003
BCOLO	0,00026	0,00035	0,00017	0,00023	0,00015	0,00007	0,00018	0,00005
ECOPETL	0,00017	0,00017	0,00049	0,00022	0,00011	0,00008	0,00015	0,00004
GRUPOARG	0,00019	0,00023	0,00022	0,00049	0,00019	0,00011	0,00021	0,00003
ISA	0,00012	0,00015	0,00011	0,00019	0,00030	0,00007	0,00013	0,00004
NUTRESA	0,00006	0,00007	0,00008	0,00011	0,00007	0,00011	0,00006	0,00003
PFAVAL	0,00014	0,00018	0,00015	0,00021	0,00013	0,00006	0,00027	0,00004
EXITO	0,00003	0,00005	0,00004	0,00003	0,00004	0,00003	0,00004	0,00028

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

En la tabla 7, se presenta la matriz de varianza y covarianza para los rendimientos de un portafolio de inversión conformado por 4 activos con periodo que contenga COVID.

Tabla 7. Matriz de varianza y covarianza para un portafolio de 4 acciones con COVID

	BCOLO	ECOPETL	ISA	EXITO
BCOLO	0,00040	0,00018	0,00016	0,00004
ECOPETL	0,00018	0,00051	0,00012	0,00005
ISA	0,00016	0,00012	0,00032	0,00003
EXITO	0,00004	0,00005	0,00003	0,00031

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

La tabla 8 presenta la matriz de varianza y covarianza para los rendimientos de un portafolio de inversión conformado por 4 activos sin periodo que contenga COVID.

Tabla 8. Matriz de varianza y covarianza para un portafolio de 4 acciones sin COVID

	BCOLO	ECOPETL	ISA	EXITO
BCOLO	0,00035	0,00017	0,00015	0,00005
ECOPETL	0,00017	0,00049	0,00011	0,00004
ISA	0,00015	0,00011	0,00030	0,00004
EXITO	0,00005	0,00004	0,00004	0,00028

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

Después de correr la optimización dinámica en los cuatros portafolios de inversión, la tabla 9 muestra los resultados que se obtuvieron de la ejecución del proceso de optimización para un portafolio de inversión con 8 activos y con periodo de COVID.

Tabla 9. Resultados para un portafolio de 8 acciones con COVID

	PFBCOLO	BCOLO	ECOPETL	GRUPOARG	ISA	NUTRESA	PFAVAL	EXITO	PORTAFOLIO
Weigh	5%	5%	60%	5%	10%	5%	5%	5%	1
Rentabilidad día	0,02%	0,02%	0,06%	-0,03%	0,07%	-0,01%	0,00%	0,00%	0,04%
Rentabilidad Anual	4,21%	4,61%	14,72%	-8,52%	18,65%	-1,89%	-1,03%	-0,84%	10,53%
Volatilidad Stress	0,00	0,00	0,07	-0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	
Volatilidad día	1,78%	2,01%	2,28%	2,31%	1,81%	1,20%	1,59%	1,79%	1,67%
Volatilidad anual	28,21%	31,85%	36,19%	36,68%	28,68%	19,09%	25,18%	28,40%	26,49%
Observaciones	1457								
Free Risk	0,055%								
Ratio Sharpe	0,0081								

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

En la tabla anterior podemos observar que la optimización dinámica asignó un peso (*weight*) a cada uno de los activos que conforman el portafolio de inversión, valores que se definieron con rango entre 5% y 60%, lo que genera una rentabilidad anual del 10,53% con un riesgo del 26,49%. Para el mismo número de acciones, pero sin el periodo de COVID, la optimización arroja una disminución en la rentabilidad equivalente al 2,76%, ubicándola en 7,77%; de igual manera, la volatilidad del portafolio descendió, pasando de 26,49% a 25,66%, tal y como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Resultados para un portafolio de 8 acciones sin COVID

	PFBCOLO	BCOLO	ECOPETL	GRUPOARG	ISA	NUTRESA	PFAVAL	EXITO	PORTAFOLIO
Weigh	5%	5%	60%	5%	6%	5%	5%	9%	1,00
Rentabilidad día	0,02%	0,01%	0,05%	-0,02%	0,07%	-0,02%	-0,02%	-0,01%	0,03%
Rentabilidad Anual	5,50%	3,16%	12,24%	-6,23%	16,86%	-3,85%	-4,44%	-2,53%	7,77%
Volatilidad Stress	0,00%	0,00%	0,06%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	
Volatilidad día	1,68%	1,89%	2,23%	2,22%	1,74%	1,07%	1,65%	1,68%	1,62%
Volatilidad anual	26,63%	29,93%	35,43%	35,23%	27,61%	16,96%	26,18%	26,69%	25,66%
Observaciones	1107								
Free Risk	0,005%								
Ratio Sharpe	0,01618								

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

Como se muestra en la tabla 11, con respecto a los portafolios de inversión conformados para 4 acciones, se evidencia el mismo comportamiento anterior, es decir, en el periodo que no se cuenta COVID, la rentabilidad y la volatilidad presentan una disminución. Sin embargo, la rentabilidad del portafolio de 4 acciones en el periodo sin COVID, como se puede ver en la tabla 12, muestra una rentabilidad anualizada similar al mejor portafolio de 8 acciones, pero con una ventaja importante, en tanto el riesgo es de 20,97%, mientras que en el portafolio de la tabla 9 la volatilidad es del 26,49%.

Tabla 11. Resultados para un portafolio de 4 acciones con COVID

	BCOLO	ECOPETL	ISA	EXITO	Portafolio
Weigh	13%	5%	60%	22%	100%
Rentabilidad día	0,02%	0,06%	0,07%	0,00%	0,05%
Rentabilidad Anual	4,61%	14,72%	18,65%	-0,84%	12,37%
Volatilidad Stress	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	
Volatilidad día	2,01%	2,28%	1,81%	1,79%	1,39%
Volatilidad anual	31,85%	36,19%	28,68%	28,40%	22,00%
Observaciones	1457				
Free Risk	0,007%				
Ratio Sharpe	0,03051				

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

En la tabla 12, se muestran los resultados que arrojó la optimización dinámica para un portafolio de inversión conformado por 4 acciones sin periodo COVID.

Tabla 12. Resultados para un portafolio de 4 acciones sin COVID

	BCOLO	ECOPETL	ISA	EXITO	Portafolio
Weigh	9%	5%	60%	26%	100%
Rentabilidad día	0,01%	0,05%	0,07%	-0,01%	0,04%
Rentabilidad Anual	3,16%	12,24%	16,86%	-2,53%	10,35%
Volatilidad Stress	0,00	0,00	0,00	0,00	
Volatilidad día	1,89%	2,23%	1,74%	1,68%	1,32%
Volatilidad anual	29,93%	35,43%	27,61%	26,69%	20,97%
Observaciones	1107				
Free Risk	0,007%				
Ratio Sharpe	0,02595				

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

Posteriormente, se calculó el VaR histórico y paramétrico (máxima pérdida que se puede llegar a tener en un día) para cada uno de los portafolios conformados. La tabla 13 nos muestra que la máxima pérdida esperada para un día en el portafolio de 8 acciones con COVID es de -0,02744, resultado que se calculó por el método paramétrico y de -0,02335 para un VaR calculado por el método histórico.

Tabla 13. *VaR paramétrico e histórico para un portafolio de 8 acciones con COVID*

VaR Paramétrico		VaR Histórico	
Alpha - Z (5%)	-1,64485	Observaciones	1457
Alpha - Z (1%)	-2,32634	Nivel de Confianza	95%
Volatilidad	1,67%	Significancia	5%
VaR (1d, 95%)	-0,02744	Posición VaR	72,85
		VaR (1d, 95%)	-0,02335

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

La tabla 14 nos muestra que la máxima pérdida esperada para un día en el portafolio de 8 acciones sin COVID es de -0,02658, resultado que se calculó por el método paramétrico y de -0,02149 para un VaR calculado por el método histórico.

Tabla 14. *VaR paramétrico e histórico para un portafolio de 8 acciones sin COVID*

VaR Paramétrico		VaR Histórico	
Alpha - Z (5%)	-1,64485	Observaciones	1107
Alpha - Z (1%)	-2,32634	Nivel de Confianza	95%
Volatilidad	1,62%	Significancia	5%
VaR (1d, 95%)	-0,02658	Posición VaR	55,35
		VaR (1d, 95%)	-0,02149

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

La tabla 15 nos muestra que la máxima pérdida esperada para un día en el portafolio de 4 acciones con COVID es de -0,02279, resultado que se calculó por el método paramétrico y de -0,02001 para un VaR calculado por el método histórico.

Tabla 15. *VaR paramétrico e histórico para un portafolio de 4 acciones con COVID*

VaR Paramétrico		VaR Histórico	
Alpha - Z (5%)	-1,64485	Observaciones	1457
Alpha - Z (1%)	-2,32634	Nivel de Confianza	95%
Volatilidad	1,39%	Significancia	5%
VaR (1d, 95%)	-0,02279	Posición VaR	72,85
		VaR (1d, 95%)	-0,02001

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

La tabla 16 nos muestra que la máxima pérdida esperada para un día en el portafolio de 4 acciones sin COVID es de -0,02173, resultado que se calculó por el método paramétrico y de -0,01786 para un VaR calculado por el método histórico.

Tabla 16. *VaR paramétrico e histórico para un portafolio de 4 acciones sin COVID*

VaR Paramétrico		VaR Histórico	
Alpha - Z (5%)	-1,64485	Observaciones	1107
Alpha - Z (1%)	-2,32634	Nivel de Confianza	95%
Volatilidad	1,32%	Significancia	5%
VaR (1d, 95%)	-0,02173	Posición VaR	55,35
		VaR (1d, 95%)	-0,01786

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

Los resultados anteriores muestran que la pérdida máxima diaria esperada (VaR) para los portafolios, disminuye en los periodos en los cuales no se tienen en cuenta el periodo de COVID, dado que para el conjunto de 8 acciones el VaR histórico, pasa de -0,023359 a -0,021491, y, el mismo comportamiento se observa en los portafolios de 4 acciones, pasando de un VaR de -0,02001136 a -0,017863697. Sin embargo, cuando los portafolios son estresados en cada una de sus acciones, es decir, no se tiene en cuenta toda la distribución de rendimientos, sino que solo los datos que se observan inician en $-\alpha$ y hasta el VaR calculado para cada acción, como se muestra en la tabla 17. Es así como se logra evidenciar un importante aumento del VaR, tal y como se muestra en la tabla 18, pasando de -0,0233 a -0,1797 el portafolio de 8 acciones con periodo COVID. Para el portafolio de 8 acciones sin COVID, el VaR pasa de -0,02149 a -0,0916 y para el portafolio de 4 acciones con COVID, el VaR aumenta de -0,02001 a -0,3151, de igual manera, en el portafolio de 4 activos sin COVID pasa de -0,0178 a -0,1216.

El VaR calculado para cada acción en los portafolios de 8 acciones y que fueron utilizados para aplicar el stress durante la optimización dinámica, son los que se describe en la tabla 17.

Tabla 17. VaR para cada una de las acciones del portafolio

	PFBCOLO	BCOLO	ECOPETL	GRUPOARG	ISA	NUTRESA	PFAVAL	EXITO
VaR 8 acciones con COVID	-2,92%	-3,30%	-3,75%	-3,80%	-2,97%	-1,98%	-2,61%	-2,94%
VaR 8 acciones sin COVID	-2,76%	-3,10%	-3,67%	-3,65%	-2,86%	-1,76%	-2,71%	-2,77%

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

El VaR calculado para cada acción en los portafolios de 4 acciones y que fueron utilizados para aplicar el stress durante la optimización dinámica, son los que se describen en la tabla 18.

Tabla 18. Cálculo del VaR para cada una de las acciones del portafolio

	BCOLO	ECOPETL	ISA	EXITO
VaR 4 acciones con COVID	-3,30%	-3,75%	-2,97%	-2,94%
VaR 8 acciones sin COVID	-3,10%	-3,67%	-2,86%	-2,77%

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

La tabla 19 muestra los resultados después de realizar el cálculo del VaR por el método histórico y aplicar stress a la optimización dinámica para cada uno de los portafolios conformados. Se puede observar la diferencia que resulta, dado que el modelo de optimización dinámica con análisis de stress es mucho más ácido, más fuerte y muestra realmente el riesgo que se puede llegar a materializar cuando el mercado está bajo presión.

Tabla 19. Cálculo del VaR stress para cada uno de los portafolios

<i>VaR Stress</i>	<i>VaR Histórico</i>	<i>Conformación del portafolio</i>
-0,1797	-0,0233	Portafolio de 8 acciones con periodo COVID
-0,0916	-0,0214	Portafolio de 8 acciones sin periodo COVID
-0,3151	-0,0200	Portafolio de 4 acciones con periodo COVID
-0,1216	-0,0178	Portafolio de 4 acciones sin periodo COVID

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

Otras variables calculadas en el proceso de optimización dinámica con análisis de stress, muestran la afectación o el incremento en el riesgo negativo que sufren los portafolios cuando son optimizados y se analizan en un entorno de stress. La tabla 19 muestra los resultados para

los dos portafolios que se conformaron con 8 acciones, en la cual se evidencia que el portafolio que no contiene periodo COVID, arroja resultados más positivos.

Tabla 20. *Otras variables calculadas en la optimización dinámica con análisis de stress*

	Portafolio 8 Acciones con COVID	Portafolio 8 Acciones sin COVID
Rentabilidad Portafolio	-10,091%	-6,590%
Riesgo del Portafolio	1,49%	1,53%
Ratio de Sharpe	-6,8270	-4,2973
CVaR	-0,7047	0,3239
Peor Volatilidad	-0,0443	-0,0497
liquidez 5 días	-0,0093	-0,0118
Nivel de Confianza 99%	-0,0132	-0,0167
Peor Crisis	-0,1865	-0,2090

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

La tabla 20 muestra los resultados para los dos portafolios que se conformaron con 4 acciones, en la cual se evidencia que el portafolio que no contiene periodo COVID, arroja resultados más positivos.

Tabla 21. *Otras variables calculadas en la optimización dinámica con análisis de stress*

	Portafolio 4 Acciones con COVID	Portafolio 4 Acciones sin COVID
Rentabilidad Portafolio	-0,1267	-0,0705
Riesgo del Portafolio	1,48%	1,40%
Ratio de Sharpe	-8,5885	-5,0270
CVaR	-1,0334	-0,5120
Peor Volatilidad	-0,0445	-0,0445
liquidez 5 días	-0,0081	-0,0058
Nivel de Confianza 99%	-0,0115	-0,0082
Peor Crisis	-0,1870	-0,1870

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de Risk Simulator.

IV. Conclusiones

Se demuestra que aplicar la optimización dinámica a un portafolio de inversión arroja la mejor rentabilidad al menor riesgo, dado que busca la combinación adecuada en la participación de cada activo en el conjunto de activos. De igual manera, tiene en cuenta la mejor distribución para los rendimientos, con lo cual se logra maximizar la utilidad y disminuir la volatilidad o riesgo.

Se concluye que el cálculo del VaR mediante metodologías tradicionales para portafolios de inversión, no logra captar toda la posible pérdida que se puede llegar a materializar en momentos de stress o de alta volatilidad de los mercados, es por ello que la continuidad de la inversión siempre estará en riesgo de liquidación.

Se evidencia que al aplicar stress a los conjuntos de acciones muestran el riesgo real de exposición de una inversión, sin tener en cuenta el tiempo que dure en liquidar dicha inversión. En este caso, las pérdidas a las que se exponen los inversionistas son altas y constantes, lo cual trae consigo más afectaciones y, por ende, aplicando más stress al mercado de inversión de portafolios.

Los portafolios que mantuvieron el periodo COVID dentro de los datos de estudio, presentaron una mayor afectación en sus medidas de riesgo cuando fueron distribuidos al aplicar stress en cada uno de los activos que conformaron los conjuntos de inversión. Es decir, lograron plasmar o recoger todo el riesgo potencial que está inmerso en cada uno de estos portafolios cuando el mercado entra en altos periodos de volatilidad.

Agradecimientos

Los autores agradecen las observaciones y recomendaciones de los diferentes evaluadores anónimos que revisaron el trabajo, según lineamientos de la revista Lecturas de Economía, con lo cual se logró mejorar el artículo.

Referencias

- Becker, F., Gürtler, M., & Hibbeln, M. (2015). Markowitz versus Michaud: portfolio optimization strategies reconsidered. *European Journal of Finance*, 21(4), 269-291. <https://doi.org/10.1080/1351847X.2013.830138>
- Castillo, A. E., Pacheco, G. V., & Manotas, E. N. (2020). Management accounting: Effect on key factors of competitive success in the cooperative sector [Article]. *CIRIEC-España Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*(99), 119-126. <https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.99.14087>
- Dhaini, M., & Mansour, N. (2021). Squirrel search algorithm for portfolio optimization. *Expert Systems with Applications*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114968>
- Elgezabal, G. G. (2021). The contribution for education and promotion of cooperatives and other public interest purposes - COFIP - In the basque law and its applicability [Article]. *Boletín de la Asociación Internacional de Derecho Cooperativo*(58), 137-173. <https://doi.org/10.18543/BAIDC-58-2021PP137-173>
- Gómez, J., & Jiménez, J. (2020). Optimal portfolio selection based on first and second order Markov chains. *Lecturas de Economía*(92), 33-66. <https://doi.org/10.17533/UDEA.LE.N92A02>
- Leal, G. (2020). Guarantee of public transportation rights in a society in crisis due to the pandemic: Challenges of colombian democracy. *Utopía y Praxis Latinoamericana*, 25(Extra8), 274-291. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4087638>
- Lee, C. (2019). Financing method for real estate and infrastructure development using Markowitz's portfolio selection model and the Monte Carlo simulation. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(9), 2008-2022. <https://doi.org/10.1108/ECAM-10-2018-0440>
- MacQueen, J. (2020). The effects of portfolio construction on the performance of style factor etfs or how to build a style factor etf that does what it says on the tin. *Journal of Portfolio Management*, 46(2), 64-78. <https://doi.org/10.3905/jpm.2019.1.121>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1952.tb01525.x>
- Massahi, M., Mahootchi, M., & Arshadi Khamseh, A. (2020). Development of an efficient cluster-based portfolio optimization model under realistic market conditions. *Empirical Economics*, 59(5), 2423-2442. <https://doi.org/10.1007/s00181-019-01802-5>
- Naccarato, A., Pierini, A., & Ferraro, G. (2021). Markowitz portfolio optimization through pairs trading cointegrated strategy in long-term investment. *Annals of Operations Research*, 299(1-2), 81-99. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03225-y>
- Newton, D., Platanakis, E., Stafylas, D., Sutcliffe, C., & Ye, X. (2021). Hedge fund strategies, performance & diversification: A portfolio theory & stochastic discount factor approach. *British Accounting Review*. <https://doi.org/10.1016/j.bar.2021.101000>
- Pagnoncelli, B., del Canto, F., & Cifuentes, A. (2021). The effect of regularization in portfolio selection problems. *TOP*, 29(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11750-020-00578-7>
- Parejo, A., Payares, M., & Parodi, E. (2020). The use of stochastic models for the prediction of the colombian stock index colcap, based on the construction of a replica portfolio.

- Revista Venezolana de Gerencia*, 25(90), 693-708.
<https://doi.org/https://doi.org/10.37960/rvg.v25i90.32411>
- Salazar, G. (2020). Heterogeneity of associates, capital structure and profitability of non-financial cooperatives in Colombia. *Cuadernos de Economía (Colombia)*, 39(79), 1-30. <https://doi.org/10.15446/cuad.econ.v39n79.77290>
- Salazar, G., Pardo, A., & Guevara, L. (2020). Associates' heterogeneity and capital structure of the non-financial cooperatives in Colombia. *REVESCO Revista de Estudios Cooperativos*, 135. <https://doi.org/10.5209/REVE.69178>
- Torres, F. (2019). Safety proposal based on behavior for a public transport company in colombia. Continuation of a case study*. *DYNA (Colombia)*, 86(209), 378-387. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.73816>
- Ünlü, R., & Xanthopoulos, P. (2021). A reduced variance unsupervised ensemble learning algorithm based on modern portfolio theory. *Expert Systems with Applications*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115085>
- Xin, L. L., & Ding, S. (2021). Expected returns with leverage constraints and target returns. *Journal of Asset Management*, 22(3), 200-208. <https://doi.org/10.1057/s41260-020-00199-6>
- Yue, Q., Xiaolin, L., & Su, Z. (2021). Optimizing 3-objective portfolio selection with equality constraints and analyzing the effect of varying constraints on the efficient sets. *Journal of Industrial & Management Optimization*, 17(4), 1531-1556. <https://doi.org/10.3934/jimo.2020033>