



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ECONOMÍA

**MEDIDAS DE RIESGO DE UN PORTAFOLIO
ACCIONARIO EN MÉXICO, BAJO UN
ENTORNO DE INCERTIDUMBRE**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN ECONOMÍA

P R E S E N T A

JOSÉ RAMÓN GUTIÉRREZ GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS:

TULIO DE NOVA FERREIRO



Ciudad Universitaria, CDMX, 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

No puede haber grandes logros sin riesgo.

Neil Armstrong.

Agradecimientos.

El presente trabajo de investigación marca un punto de termino en mi carrera académica pero un inicio en mi carrera profesional. Sin embargo, este proceso no es solamente mío, es por ello que, en este espacio, me tomo la libertad de agradecer a las personas junto conmigo que han estado a lo largo de todo este trayecto.

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres Marco Antonio Gutiérrez Guerrero y Guadalupe García Belmont, a quienes le dedico todos y cada uno de mis éxitos en mi vida, sin su valioso ejemplo de nobleza, fortaleza y el enorme esfuerzo que han hecho a lo largo de 25 años trabajando incansablemente para que yo pueda cumplir mis metas y objetivos personales y académicos. Sin ellos, yo no estaría escribiendo estas palabras. Sus consejos y sabiduría, me inspiran a no conformarme con solo ser un excelente profesionista sino un maravilloso ser humano.

A mi tío Jorge López, por ayudarme a mí y mis padres en varios momentos difíciles a lo largo de 25 años, además de tener múltiples atenciones conmigo.

A mis tíos Jesús García y Ana María Soria por ayudarme a mí y mis padres en varios momentos difíciles a lo largo de más de 25 años y que forman una parte importante en este trayecto.

Hay otras personas a las que quiero mencionar que sin duda han dejado una gran huella en mí y de las cuales agradezco su paciencia, apoyo profesional y en muchos casos su amistad.

Al Doctor Carlos Guerrero de Lizardi por ser un gran profesor comprometido con la educación de los alumnos, quien tuve la fortuna de conocer en la clase de “Teoría Económica” e “Introducción a la Econometría”.

A los miembros de mi comité sinodal: Maestro Tulio De Nova, Dra. Miriam Sosa, Maestro Gabriel Rodríguez, Maestro Oscar León y Lic. Jacobo Eleazar los cuales he tenido el gusto de aprender y convivir con ellos.

A todos, gracias.

Objetivo general

Generar un portafolio de inversión de empresas que cotizan en la Bolsa Mexicana de Valores, medir su desempeño contra el índice de mercado y calcular el VaR y ES por diversas metodologías

Objetivos particulares

- Resaltar los elementos teóricos que subyacen a la administración de riesgos financieros en el marco de la teoría moderna de portafolios.
- Presentar las medidas de riesgo y rendimiento en un portafolio de activos con riesgo y las mediciones de desempeño aplicables.
- El código deberá cumplir con las regulaciones acordadas por el Comité de Basilea III, es decir, ser capaz de calcular el VaR con un nivel de confianza igual a 95% y un horizonte de tiempo de 10 días.
- Comprobar por medio de pruebas estadísticas si el portafolio obtenido posee rendimientos con distribución normal bajo un contexto de incertidumbre como el que se vive actualmente por el efecto del Covid-19.
- Ocupar diversas metodologías para el cálculo del VaR y el ES.
- Calcular el VAR y ES para comparar los resultados suponiendo normalidad en los rendimientos contra resultados que supongan que no hay normalidad en los rendimientos.

Problemática

Bajo un escenario de alta incertidumbre debido a las medidas de confinamiento tomadas por el gobierno mexicano y con choques de oferta y demanda agregada, ¿es posible encontrar un portafolio que maximice el rendimiento? Además, si dicho portafolio existe, ¿cuál sería la pérdida esperada máxima que podría sufrir este portafolio debido al contexto actual contra el mercado? y ¿qué desempeño tendría?

Hipótesis

Bajo un contexto de incertidumbre económica, financiera y social, es correcto mantener el supuesto de que los rendimientos se distribuyen de forma normal para encontrar un portafolio que maximice la relación riesgo rendimiento.

Justificación

Las recientes crisis financieras mundiales han puesto de manifiesto que se requiere mayor control sobre los riesgos que asumen las entidades financieras, ya que por maximizar sus utilidades pueden asumir grandes niveles de exposición a riesgos, a los que no pueden hacer frente en caso de materializarse.

A lo largo de la historia 2 eventos en particular, han tenido un impacto fuerte en la adopción generalizada de la medición del riesgo de mercado en el sector financiero. El primero tuvo lugar en 1995, año en el que el Banco Internacional de Pagos (BIS), por

intermediación del Comité de Supervisión Bancaria de Basilea (Suiza) propuso nuevas políticas y procedimientos para la medición, el control y la gestión de riesgos financieros (acuerdo de Basilea).

El segundo evento importante ocurrió en 1994, cuando el banco estadounidense J. P. Morgan hizo público en su documento técnico denominado *Risk-Metrics* el concepto de Valor en Riesgo, conocido comúnmente como VaR. El VaR pretende estimar la pérdida máxima en que podría incurrir una institución financiera en el desarrollo de su actividad económica con un nivel de confianza predeterminado. Este modelo es el más aceptado para la medición del riesgo de mercado.

Existen diversos autores como De Lara (2018)¹ y Christoffersen (2011)² por citar algunos, que hacen referencia al cálculo del VaR por diferentes enfoques, pero de manera práctica los métodos más utilizados son: VaR paramétrico (o gaussiano), VaR por simulación histórica y VaR por simulación Monte Carlo; este último ofrece la oportunidad de probar muchos más escenarios de potenciales cambios para los instrumentos financieros.

De acuerdo con De Lara (2018)³, ninguna de las metodologías anteriores para el cálculo del VaR nos da certeza respecto a las pérdidas que se podrían presentar ante una determinada inversión, dichas metodologías nos ofrecen una expectativa de resultados basada en la estadística y en algunos supuestos para los parámetros.

Una de las principales problemáticas que se han discutido en los últimos años acerca de los modelos de Valor en Riesgo, es el supuesto de la normalidad en la distribución de los rendimientos, ya que, al optar por esta distribución, simplifica muchos cálculos y por consiguiente se llega a expresiones mucho más simples y sencillas de calcular. Sin embargo, al tratarse del riesgo financiero, se ha observado que algunos riesgos presentan probabilidades muy altas de ocurrencia. Esto implica que la distribución de los rendimientos no se distribuye de manera normal, sino que se debe de modelar con una densidad de cola pesada.

¹ De Lara A., "Conceptos básicos del modelo de valor en riesgo", en *Medición y control de riesgos financieros*. 4ª. Ed., México, Limusa, 2018.

² Christoffersen, P. "A Brief Taxonomy of Risks" en *Elements of financial risk management*. Academic Press, 2011, pp.7-8.

³ De Lara A., *op. cit.*, pp.102-103.

ÍNDICE GENERAL DE CAPÍTULOS

Objetivo general	I
Objetivos particulares	I
Problemática	I
Hipótesis	I
Justificación	I
Capítulo 1 Administración del Riesgo	1
Introducción	1
1.1 Administración de riesgos.....	2
1.2 Tipos de riesgos financieros.....	2
1.3 Proceso de administración de Riesgo.....	3
1.4 Definición y objetivo del VaR	4
1.5 Historia del VaR.....	5
1.6 Medición del VaR	5
1.7 Fases para el cálculo del VaR	6
1.8 Problemas para el cálculo y medición del VaR.....	7
Capítulo 2 Relación Riesgo-Rendimiento	8
Introducción	8
2.1 Riesgo y Rendimiento de un activo.....	9
2.2 Riesgo y rendimiento de una cartera de activos	10
2.3 Medición del riesgo.....	10
2.3.1 Volatilidad Histórica	11
2.3.2 Volatilidad dinámica	11
2.3.3 Volatilidad implícita.....	13
2.3.4 Series de tiempo	13
2.4 Modelo de Markowitz	15
2.4.1 Determinación de la Frontera Eficiente de Markowitz	17
2.4.2 Determinación de la Frontera Eficiente con restricciones a la venta en corto	19
2.4.3 La maximización de la utilidad esperada con un portafolio de sólo acciones.....	20
2.4.4 Diversificación real de un portafolio.....	20
2.4.5 Los resultados de la diversificación eficiente.....	22
2.5 Modelo de valuación de Activos de capital (CAPM – Capital Asset Pricing Model)	23

2.5.1 Línea característica.....	23
2.6 Medidas de performance	26
2.7 El teorema de la separación.....	27
2.8 Capture Ratio	30
2.9 DrawDown	32
Capítulo 3 Metodologías para medición del VaR.....	33
Introducción	33
3.1 Método paramétrico	34
3.1.1 Modelo para un activo financiero.....	34
3.1.2 Modelo para n activos financieros.....	34
3.1.3 Simulación Monte Carlo	36
3.2 Método no paramétrico	45
3.2.1 Simulación con crecimientos absolutos	46
3.2.2 Simulación con crecimientos relativos.....	46
3.2.3 Simulación con crecimientos logarítmicos.....	47
3.2.4 Ventajas de la Simulación histórica	47
3.5 Métodos Alternativos	47
3.5.1 Coherencia de Medidas de Riesgo	48
3.5.2 ¿El VAR es una Medida Coherente de Riesgo?.....	49
3.5.3 Expected Shortfall (ES).....	51
3.5.3 Teoría de Valores Extremos (EVT).....	52
Capítulo 4 Riesgos de mercado de 2018 a 2020	54
Introducción	54
4.1 Brexit.....	55
4.2 Aumento de movimientos de ideología extrema (extrema izquierda y derecha)	56
4.3 México y el cambio de régimen político.....	56
4.4 Coronavirus	58
4.5 Guerra Comercial USA-China	63
4.6 Política Monetaria (USA-México)	65
4.6.1 Política Monetaria Antes de la pandemia.....	65
4.6.2 Política Monetaria durante la pandemia.....	66
4.7 El mercado de reportos en USA	71
4.8 Petróleo	73

4.9 Elecciones de USA (2020)	74
Capítulo 5. Cálculo del VaR y ES en el portafolio de inversión: caso práctico.	75
Introducción.	75
5.1 Análisis exploratorio de los datos	76
5.1.1 Análisis IPC.....	76
5.1.2 Análisis de las empresas seleccionadas.....	82
5.2 Portafolio de inversión	92
5.2.1 Portafolio de Mínima Varianza	93
5.2.2 Portafolio Máximo de Sharpe.....	94
5.2.3 Portafolio con Rebalanceo-Dinámico	96
5.2.4 Performance	97
5.4 Cálculo del VaR y ES.....	101
Capítulo 6 Conclusiones.....	108
Referencias.....	110
Recursos electrónicos	113
Anexo 1: Breve Introducción a la Estadística.....	114
Anexo 2: Código	125

Capítulo 1 Administración del Riesgo

Introducción

La administración de riesgos es una herramienta que ayuda a la toma de decisiones, debido a que convierte la incertidumbre en oportunidades.

El riesgo es un aspecto relacionado con la psicología del ser humano, con las matemáticas y otras ramas del conocimiento. En este capítulo se abordará en una primera parte los antecedentes de la administración de riesgos, después se explican los diferentes tipos de riesgo financieros, pasando a todo lo que involucra el proceso de administración de Riesgo. Habiendo abordado estos temas, se toma la definición y el objetivo del Valor en Riesgo (VaR), su historia, sus componentes y los pasos para su cálculo. Finalmente se presentan los problemas para el cálculo y medición del VaR.

1.1 Administración de riesgos

La palabra riesgo proviene del latín “*risicare*” que significa “atreverse”. Generalmente cuando a la gente se le pregunta por el significado de riesgo, se piensa en peligro, daño o pérdida. Sin embargo, el riesgo es parte de la toma de decisiones y procesos de inversión.

En finanzas, el concepto de riesgo está relacionado con la probabilidad de que ocurran pérdidas para los participantes en los mercados financieros. El riesgo es producto de la incertidumbre que existe sobre el valor de los activos financieros, ante movimientos adversos de los factores que determinan su precio; a mayor incertidumbre mayor riesgo.⁴ Los seres humanos deben conocer y responder de manera intuitiva o cuantitativa a las probabilidades que confrontan en cada decisión. Es ahí donde se encuentra la esencia de la administración de riesgos, la cual consiste en medir esas probabilidades en contexto de incertidumbre. Entendiendo esto el lector se preguntará ¿Cuál es la diferencia entre riesgo e incertidumbre?; la principal diferencia es que la incertidumbre no es medible. La incertidumbre no se puede evaluar de forma completa, mientras que el riesgo sí se puede establecer de forma clara, cuáles son todas las opciones y determinar cuáles son las probabilidades de cada una de ellas.

Poniendo un ejemplo, el lanzamiento de una moneda en el que no sabemos si saldrá cara o cruz. En este caso es sencillo evaluar las probabilidades de cada resultado posible, que son un 50% para cada lado (cruz o cara). No podemos controlar qué saldrá, pero sí cuáles son las opciones y qué probabilidad tienen. De esta forma, sabemos a qué riesgo nos enfrentamos. Entonces el riesgo es el análisis de probabilidades de cada opción posible. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones no resulta sencillo realizar un análisis tan detallado. Y cuando esto no es posible, nos enfrentamos a la incertidumbre.

1.2 Tipos de riesgos financieros

De acuerdo con Christoffersen (2011)⁵ el riesgo se puede clasificar en las siguientes categorías:

- **Riesgo de mercado**: Se define como la pérdida potencial por los cambios de los factores de riesgo que inciden sobre la valuación o sobre los resultados esperados de las operaciones, como las tasas de interés, tipos de cambio e índices de precios, entre otros.
- **Riesgo de crédito**: Es la pérdida potencial producto del incumplimiento de la contraparte en una operación que incluye un compromiso de pago.
- **Riesgo de liquidez**: Se refiere al riesgo que la entidad o institución no sea capaz de generar flujos de efectivo que logren cubrir sus obligaciones de corto plazo.

⁴ De Lara, A, *op. cit.*, pp. 19-23.

⁵ Christoffersen, P., *op. cit.*, pp.7-8.

- **Riesgo legal:** Hace referencia a la pérdida que se sufre en caso de perder un juicio.
- **Riesgo operativo:** Es aquel que puede ser provocado por errores humanos, procesos internos inadecuados o defectuosos, fallos en los sistemas y como consecuencia de acontecimientos externos.⁶
- **Riesgo reputacional:** Se deriva de la percepción negativa de los clientes, accionistas, inversores, proveedores, del mercado que puedan afectar la capacidad de una empresa para mantener relaciones comerciales y acceso al financiamiento.

1.3 Proceso de administración de Riesgo

Los principales objetivos de la administración de riesgos son:

- Asegurarse de que una institución o inversionista no sufra pérdidas económicas fuera de las esperadas (no tolerables).
- Mejorar el desempeño financiero de una institución, tomando en cuenta el rendimiento ajustado por riesgo la optimización del capital y la liquidez.

Lo anterior se logra midiendo dichos riesgos, estableciendo controles y comunicando sobre tales riesgos a los órganos colegiados correspondientes.

Para De Lara (2018)⁷ el proceso de administración de riesgo considera⁸:

- 1.- Identificación de riesgos
- 2.- Cuantificación y control de riesgos
- 3.- Modificación o nulificación de dichos riesgos a través de coberturas.

Para lograr una efectiva identificación de riesgos, es necesario considerar las diferentes naturalezas de riesgos que se presentan en una sola transacción.

Los riesgos de mercado no provienen al 100% del mercado, sino que tienen un impacto proveniente de otros tipos de riesgos que no pueden ser separados, lo cual incrementa la complejidad en la evaluación. Para entender mejor esta parte, supongamos la compra de una opción OTC (*Over the Counter*); esto implica un riesgo de mercado (Variación en el precio de la opción), así como un riesgo de liquidez (al ser OTC no hay una cámara de compensación que garantice la liquidez del contrato), riesgo de crédito (no existe cámara de compensación que garantice el cumplimiento del contrato) y riesgo operacional al mismo tiempo.

⁶ BBVA. <https://accionistaseinversores.bbva.com/microsites/bbva2012/es/Gestiondelriesgo/Riesgooperacional.html> Fecha de consulta: 7 de marzo de 2020.

⁷ De Lara A, *op. cit.*, pp. 24.

⁸ *Ibid.*, pp. 25-27.

El siguiente paso, se refiere a la cuantificación del riesgo (el cual ha sido estudiado ampliamente), en donde los especialistas han desarrollado medidas para cuantificar el riesgo entre ellos el Valor en Riesgo, la Duración, la Convexidad, el Análisis de Sensibilidad, el *Backtesting*, la Beta, la Delta, entre otras. Para cuantificar el riesgo de mercado es necesario contar con precios, tasas de interés de mercado, valuación de instrumentos, cuantificar las volatilidades y correlaciones que permitan obtener un mejor Valor en Riesgo del instrumento.

1.4 Definición y objetivo del VaR

De acuerdo con Linsmeier y Pearson (1996)⁹, el Valor en Riesgo se describe como:

El valor en riesgo es una medida estadística única y resumida de las posibles pérdidas en un portafolio. Específicamente, el valor en riesgo es una medida de las pérdidas debidas a los movimientos "normales" del mercado. Las pérdidas mayores al valor en riesgo se presentan solamente con una probabilidad pequeña específica. Sujeto a los supuestos simples usados en su cálculo, el valor en riesgo agrega todos los riesgos inherentes al portafolio en un solo número que puede reportarse de manera directa a los consejos directivos y a los reguladores, o detallarse en un reporte anual.... Es solo una forma simple de describir la magnitud de las pérdidas probables en el portafolio.

Por su parte Jorion (2008)¹⁰ define el valor en riesgo como:

El Valor en Riesgo, resume la pérdida máxima esperada (o peor pérdida) a lo largo de un horizonte de tiempo objetivo dentro de un intervalo de confianza dado.

Una definición más técnica es la que presentan JP Morgan (1996)¹¹ como:

El Valor en Riesgo es una medida del cambio máximo en el valor de una cartera de instrumentos con una probabilidad dada sobre un horizonte preestablecido. El VaR responde a la pregunta: ¿cuánto puedo perder con un x% de probabilidad en un horizonte de tiempo dado.

⁹ Linsmeier y Pearson (1996). "Risk measurement: An introduction to value at risk".

¹⁰ Jorion, P., 2008. "Valor en Riesgo. El nuevo paradigma para el control de riesgo con derivados". Ed. Limusa Noriega, pp. 41.

¹¹ J.P. Morgan (1996). "RiskMetrics Technical Document". Morgan Guaranty Trust Company *en Market Risk Research*. Third Edition.

1.5 Historia del VaR

En 1996, JP Morgan anunció que pondría a disposición del público su sistema de gestión de riesgos financieros, denominado *Riskmetrics*, con el objetivo de incrementar la transparencia de las instituciones participantes y establecer un sistema homogéneo de medición de riesgos de mercado que pudiera ser utilizado por las instituciones que participaban en los mercados financieros (Jorion, 2008)¹².

De acuerdo con JP Morgan (1996), las tres razones principales por las que decidió hacer pública la información contenida en *Riskmetrics* son¹³:

- 1.- Promover una mayor transparencia de asuntos relacionados con los riesgos de mercado, reconociendo la necesidad de mayor transparencia para la gestión efectiva del riesgo.
- 2.- Establecer un punto de referencia para la medición de dichos riesgos. La ausencia de un punto de referencia común dificulta la comparación de diferentes técnicas y medidas de riesgo de mercado.
- 3.- Proporcionar consejos sólidos a sus clientes, incluyendo asesoramiento sobre la administración de riesgos de mercado de sus posiciones.

Con la publicación de la metodología de *Riskmetrics*, JP Morgan logró una gran cantidad de beneficios, entre ellos obtuvo un gran prestigio, así como la creación de una rama de negocios independiente dedicada a la comercialización de servicios profesionales y software para la medición y gestión de riesgos de mercado producto de dicho prestigio (Aragónés y Blanco 2000)¹⁴. En la actualidad, la mayor parte de las instituciones financieras cuentan con un sistema de gestión de riesgos basados, en mayor o menor medida en el concepto desarrollado por JP Morgan, ya que resume en un solo número, fácil de entender, la exposición total de una institución al riesgo de mercado y resulta bastante útil para la presentación de resultados a los principales ejecutivos, directores y tenedores de acciones de una institución (Jorion, 2008)¹⁵.

1.6 Medición del VaR

De acuerdo a la definición del VaR, este depende de tres factores cuantitativos: el horizonte temporal, el intervalo de confianza y la cantidad de observaciones utilizadas para el cálculo. A continuación, se detalla cada una de estas variables¹⁶:

¹² Jorion, P., *op. cit.*, pp. 63-81.

¹³ J.P. Morgan, *op. cit.*, pp.1-2.

¹⁴ Aragónés, J., Blanco C., 2000. "Valor en Riesgo aplicación a la gestión empresarial". Ed. Pirámide.

¹⁵ Jorion, P., *op. cit.*, pp. 75.

¹⁶ Ospina. V.,2008. "Medición del VaR en los portafolios de acciones mercado colombiano". *Anteproyecto de grado para Posgrado en Ingeniería Industrial*. Universidad Tecnológica de Pereira, pp.20.

- Horizonte Temporal: El horizonte temporal es el período desde el momento actual hacia el futuro para el cual se estima la pérdida máxima probable; su determinación se asocia al plazo que se requiere para deshacer una posición o cubrirla. Así, la selección del horizonte temporal que se va a utilizar para realizar el cálculo depende de la liquidez de los activos que componen el portafolio. Generalmente, para operaciones de mercado de dinero se utiliza un día, una semana o dos semanas.
- Nivel de Confianza: El nivel de confianza es la probabilidad de que el intervalo estimado contenga el parámetro. Por ejemplo, cuando se escoge un 5%, hay cerca de 5 casos en 100 donde la hipótesis nula se rechazará cuando debió de ser aceptada; es decir hay un 95% de probabilidades de tener el dato correcto. En el caso específico del VaR, esta Variable nos indicaría el porcentaje de tiempo en el cual se espera que la entidad no tenga pérdidas mayores a las predichas por el modelo. Usualmente los niveles de confianza utilizados se ubican entre 90% y 99%.
- Cantidad de Observaciones Utilizadas para el Cálculo: Al escoger la cantidad de observaciones debe tomarse en cuenta que los períodos cortos les permiten a las estimaciones de VaR reaccionar más rápido a los cambios en los mercados. Por su parte, las series de datos largas permiten obtener distribuciones de los retornos mejor elaboradas, pero pueden no reflejar la situación actual del mercado. En la práctica, las series de datos utilizadas normalmente comprenden períodos de tres a cinco años (Jorion, 2008)¹⁷.

1.7 Fases para el cálculo del VaR

El cálculo del VaR se divide en dos etapas:

1.- Definiciones previas: Son las definiciones iniciales necesarias para poder realizar el cálculo del VaR y deben hacerse independientemente de la forma o método de cálculo elegido. Estas son:

- Determinar el periodo de tiempo que cubrirá el VaR. Por ejemplo: Un día, una semana, un mes, etc.
- Determinar el nivel de confianza que proporcionará el VaR. Por ejemplo: 95% de confianza, 99% de confianza, etc.
- Determinar el valor del mercado de la cartera actual. Por ejemplo: \$1.000.000, \$25.000.000, etc.
- Identificar las variables de mercado, que constituyen los factores de riesgo a los que está expuesta la cartera. Típicamente son los tipos de cambio, tasas de interés, precios de las acciones, etc.

2.- Medición del VaR: Consiste en medir el VaR empleando la forma o el método de cálculo elegido.

¹⁷ Jorion, P., *op. cit.*, pp. 103-105.

1.8 Problemas para el cálculo y medición del VaR

De acuerdo a De Lara (2018)¹⁸, algunos de los problemas que se pueden enfrentar en el cálculo del Valor en Riesgo son:

- Pueden ser fuertemente dependientes de algunos supuestos, en particular en el comportamiento de las correlaciones y volatilidades.
- Puede haber problemas en la recolección de datos.
- El VaR no establece qué hacer con el problema de alta curtosis y, por lo tanto, no se conoce hasta cuánto podrían llegar las pérdidas en 1% o 5% de las veces.
- Puede haber problemas de interpretación, es decir, puede interpretarse como el peor escenario o la exposición total del riesgo y generar una falsa sensación de seguridad.

Expuesto esto, De Lara (2018)¹⁹ recomienda:

- Que el VaR se use en conjunto con otros métodos, como pruebas de estrés.
- Realizar pruebas de retroalimentación con datos reales (*Backtesting*).
- Evitar sensaciones de seguridad.
- Revisar datos sucios utilizando dos o 3 desviaciones estándar para revisar rendimientos anormales.

¹⁸ De Lara, A., *op. cit.*, pp. 102.

¹⁹ *Íbid.*, pp.103-104.

Capítulo 2 Relación Riesgo-Rendimiento

Introducción

Este capítulo inicia relacionando el riesgo y el rendimiento y por qué se tiene relación positiva entre ellas, para después enfocarse en calcular el rendimiento de un activo y de un portafolio de inversión (apartados 2.1 y 2.2 respectivamente). En el punto 2.3 se aborda el tema de cómo medir la volatilidad a través de volatilidad histórica, dinámica, implícita y modelos de series de tiempo, apartado en el que se da una breve introducción a la medición de la volatilidad. En el punto 2.4 se explica el modelo de Markowitz centrado en el planteamiento matemático y su conclusión; para el punto 2.5 se explica el modelo de valuación de activos (CAPM) y sus componentes.

En el apartado 2.6 se presentan las principales medidas de desempeño financiero tanto de un activo como de un portafolio, para después llegar al apartado 2.7 y explicar la fusión del modelo de cartera de Markowitz y el modelo CAPM a través del teorema de la separación, concepto muy importante para entender la parte práctica. En el apartado 2.8 se explica el capture ratio, medida que se usa para comparar fondos, destacando su importancia, su cálculo y su fórmula. Finalmente, en el punto 2.9 se introduce el concepto de *drawdown*, su importancia en la gestión de riesgo, su cálculo e interpretación.

2.1 Riesgo y Rendimiento de un activo

El concepto de riesgo y el de rendimiento son de vital importancia para todas las decisiones, no sólo financieras, sino también en la vida en general. Por ello, lo primero que debemos hacer es definir ambos términos.

El Riesgo se refiere a la probabilidad de que algo no suceda, como está planeado, por ejemplo, el riesgo de que USA salga del TLCAN (cuando la expectativa es que no saliera); idea que, en el pasado, ni siquiera se hubiera planteado. Aplicando este término en la vida cotidiana, el riesgo de reprobación de una materia en la escuela por no asistir a clase.

El concepto de rendimiento se refiere a la utilidad que se obtiene de lo que se hace, como el rendimiento de una acción, el cual es el porcentaje extra que ha dado al costo original; el rendimiento también puede ser aplicable a otros conceptos de la vida diaria, como el rendimiento de un alumno, de un atleta, etc.

La razón por la cual se ligan ambos conceptos es por una frase muy conocida: a mayor riesgo, mayor rendimiento y viceversa. Para explicar mejor esta frase, es necesario darse cuenta que las cosas más riesgosas, así como pueden terminar en tragedia, también pueden terminar en un gran éxito; por ejemplo, el invertir en criptomonedas, acción que puede generar una fuerte ganancia (por el aumento elevado en el precio de las criptomonedas) o una fuerte pérdida (por una disminución drástica del precio de las criptomonedas).

Podemos decir que la relación entre el riesgo y el rendimiento es positiva ya que, a mayor riesgo, mayor será el rendimiento potencial. Cada bien o servicio tiene sus características particulares de riesgo y rendimiento. Es necesario la comprensión y cuantificación de dichas peculiaridades para predecir su conducta futura considerando estas dos variables.

Tomando en cuenta la conducta histórica de los rendimientos de un activo individual es viable pronosticar el rendimiento esperado de dicho activo.

Para poder medir el rendimiento de un activo se calcula con la siguiente fórmula²⁰:

$$R_i = \frac{\text{Valor}_{final} - \text{Valor}_{inicial}}{\text{Valor}_{inicial}} \quad (2.1)$$

La fórmula presentada anteriormente es para el cálculo del rendimiento discreto, donde:

R_i = Rendimiento del activo i

También se pueden calcular los rendimientos de forma continua con la siguiente fórmula:

$$R_i = \ln \left[\frac{P_t}{P_{t-1}} \right] \quad (2.2)$$

²⁰ Ross, W., "Capítulo 10 Riesgo y Rendimiento" en *Finanzas Corporativas*. 9a ed., Ed. Mc GrawHill, 2012, pp 300-322.

Dónde:

R_i = Rendimiento del activo i

\ln = Logaritmo natural

P_t = Precio del activo en el momento t

P_{t-1} = Precio del activo en el momento t-1

2.2 Riesgo y rendimiento de una cartera de activos

Para el caso de una cartera, el rendimiento de esta se define como la suma ponderada de los rendimientos individuales de los activos que componen el portafolio, por el peso que tienen dichos activos:

$$R_p = \sum_{i=1}^n w_i R_i \quad (2.3)$$

En cambio, el rendimiento promedio se define como la suma de los rendimientos de cada uno de los activos, entre el número de activos.

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad (2.4)$$

Dónde:

R_a = Rendimiento promedio de la cartera

R_i = Rendimiento del activo i

n = número de activos en la cartera

2.3 Medición del riesgo

Para medir la volatilidad, se utilizará el concepto de desviación estándar de los rendimientos de un activo o un portafolio.

Como bien señala De Lara (2018)²¹

Este es un indicador fundamental (la desviación estándar) para la cuantificación de riesgos de mercado, pues representa una medida de dispersión de los rendimientos con respecto al promedio o la media de los mismos en un periodo determinado.

²¹ De Lara, A., *op. cit.*, pp. 73-87.

Dada una serie de tiempo cualquiera, se notará que en algunos periodos la serie es heteroscedástica, que significa que la volatilidad es más o menos constante en el tiempo; pero habrá otros periodos donde la Variable muestre turbulencias (aumento de la volatilidad).

Dicho lo anterior, existen Varias formas de medir y pronosticar la volatilidad; en esta sección se explicarán 4 métodos:

- Volatilidad histórica
- Volatilidad dinámica
- Volatilidad implícita
- Series de tiempo:
 - Modelos AR
 - Modelos MA
 - Modelos ARCH y GARCH

2.3.1 Volatilidad Histórica

Para este método, todas las observaciones tienen el mismo peso específico y el pronóstico está basado en las observaciones históricas. Simplemente se usa la fórmula de desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_i - \mu)^2}{n-1}} \quad (2.5)$$

Nota: El BIS recomienda considerar un horizonte de 250 días de operación (hábiles) para usar este método.

2.3.2 Volatilidad dinámica

Para capturar las variaciones en la volatilidad en los mercados, se usa el método de suavizamiento exponencial de las observaciones históricas durante algún periodo, generalmente un año.

De acuerdo con JP Morgan (1996)²², este método tiene 2 ventajas:

- Primero, la volatilidad reacciona más rápido a los choques en el mercado, debido a que los datos más recientes tienen mayor peso que los datos distantes.
- Segundo, después de un shock, la volatilidad disminuye exponencialmente a medida que el peso de la observación de choque cae.

²² J.P. Morgan, *op. cit.*, pp. 76.

Si a la media de los rendimientos en la fórmula 2.1, la volvemos cero, la fórmula queda de la siguiente forma:

$$\sigma_t = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^T r_{t-i}^2 \quad (2.6)$$

A partir de la fórmula 2.6, se le asigna al cuadrado de los rendimientos un peso específico w :

$$\sigma_t^2 = \sum_{i=1}^T w_i r_{t-i}^2 \quad (2.7)$$

Si se hace $w_i = \lambda^{i-1}(1 - \lambda)$, donde $0 < \lambda < 1$, entonces la expresión 2.7 queda:

$$\sigma_t^2 = (1 - \lambda) \sum_{i=1}^T \lambda^{i-1} * r_{t-i}^2 \quad (2.8)$$

Este modelo depende de un parámetro λ llamado factor de decaimiento (*decay factor*), el cual se encuentra entre 0 y 1. Este parámetro determina los pesos que se aplican a las observaciones y la cantidad efectiva de datos que se utilizan para estimar la volatilidad. Mientras más pequeño es λ , mayor peso tendrán los datos más recientes; por otro lado, un $\lambda=1$, les da el mismo peso a todas las observaciones.

Las observaciones históricas que recoge este método, según *Riskmetrics*, son las siguientes:

ILUSTRACIÓN 2.1 FACTOR DE DECANTAMIENTO

λ	0.001%	0.01%	0.1%	1%
0.90	109	87	66	44
0.94	186	149	112	74
0.96	282	226	169	113
0.97	378	302	227	151
0.98	570	456	342	228

Fuente: (De Lara, 2018)

El nivel de tolerancia es una medida que permite saber para cierto nivel λ , cuantas observaciones se están considerando para el cálculo. Este nivel se construye de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$NT = \lambda^k \quad (2.9)$$

2.3.3 Volatilidad implícita

Este método no ocupa observaciones históricas, sino en observar la volatilidad existente en el mercado de opciones. De acuerdo con De Lara (2018)²³, se observa el precio de la prima de las opciones en el mercado y sustituyendo ese valor en la fórmula Black-Scholes, se despeja el valor de la volatilidad de dicha fórmula.

El problema de este método es que se confía en el mercado de opciones del subyacente, dicho mercado debe ser lo suficientemente líquido y que no todos los subyacentes tienen opciones.

2.3.4 Series de tiempo

Una serie de tiempo es un conjunto de datos estadísticos que se recopilan, observan o registran en intervalos de tiempo regulares (diario, semanal, semestral, anual, entre otros) y sus componentes son: tendencia, ciclo, estacionalidad y variación irregular.

Para modelar series de tiempo económico-financieras es necesario que estas tengan un comportamiento estacionario, es decir, que la media no dependa del tiempo (media constante); esto implica que, aunque en ciertos episodios la variable se aleje de la media, siempre regresará a la misma (lo que se conoce como regresión a la media). Para lograr esto, es necesario quitar los efectos de tendencia, periodicidad (estacionalidad) y ciclo para trabajar con una serie estacionaria y estocástica.

Un problema que surge a menudo en el estudio de las series de tiempo, es el problema de la heteroscedasticidad (Varianza no constante en el tiempo). Es aquí donde las series financieras necesitan un tratamiento especial, debido a episodios de alta volatilidad, lo que hace difícil filtrar o transformar la serie para que sea homoscedástica. Una alternativa es usar los modelos GARCH y ARCH²⁴.

Pero para poder lograr entender estos modelos, se optó por empezar a ver los modelos AR y MA.

Procesos Autoregresivos (AR)

El modelo autoregresivo expresa el valor actual de una serie estacionaria (x_t) en función de su propio pasado, o sea de sus rezagos (x_{t-1}, \dots, x_{t-n}). Su forma algebraica es la siguiente:

$$x_t + a_1x_{t-1} + a_2x_{t-2} + \dots + a_nx_{t-n} = z_t + c \quad (2.10)$$

Donde c es una constante, n es el orden o el mayor rezago del modelo y z_t es un error también llamado residuo o shock de ruido blanco.

²³ De Lara, A., *op. cit.*, pp. 81-82.

²⁴ Véase Kirchgassner, G., Wolters, J., y Hassler, U. "Univariate Stationary Processes", en *Introduction to Modern Time Series Analysis*. 2nd Edition, Springer, 2012.

Para determinar el orden del proceso autoregresivo, se suele usar una herramienta muy útil llamada correlograma; el cual es una gráfica de los coeficientes de autocorrelación con ciertos rezagos.

Medias Móviles (MA)

Este método expresa la serie x_t en función del presente y el pasado de una serie de ruido blanco (z_t). Su expresión algebraica es:

$$x_t = c + \beta_0 z_t + \beta_1 z_{t-1} + \beta_2 z_{t-2} + \dots + \beta_q z_{t-q} = c + \sum_{s=0}^q \beta_s z_{t-s} \quad (2.11)$$

Donde los coeficientes β no tienen restricciones en cuanto a la estabilidad de la serie porque una suma finita de q términos con varianza finita, como lo son z_t , no puede ser explosiva.

La estimación de las betas es más compleja que en los AR, debido a que no es posible encontrar estimadores eficientes y se tienen que usar iteraciones numéricas, por lo que conviene invertir el proceso de MA a AR.

La invertibilidad del proceso se realiza mediante un procedimiento propuesto por Box, Jenkins y Reinsel (2011)²⁵.

Para determinar el orden del proceso de MA, lo mejor es observar el punto donde se cortan los coeficientes de autocorrelación en el correlograma.

Modelos GARCH y ARCH

En los modelos anteriores se suponía de una serie homoscedástica (varianza constante), pero en muchas variables no es así. Para esos casos, se usan los modelos GARCH (*General Autoregressive Conditionall Heteroskedasticity*) y los ARCH (*Autoregressive Conditionall Heteroskedasticity*).

Los modelos ARCH están diseñados para modelar y pronosticar volatilidad. Son muy utilizados por analistas y administradores de riesgos.

Recordemos un AR:

$$r_t = a_0 + a_1 r_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.12)$$

Esta fórmula nos indica que la variable r es explicada por sí misma pero rezagada un periodo, más un error aleatorio (de ruido blanco). Este ruido blanco es homoscedástico (varianza constante), mientras que para los modelos GARCH el error es variable en el tiempo (heteroscedástico).

²⁵ Véase Box, Jenkins y Reinsel (2011). *Time series analysis: forecasting and control* (Vol. 734). John Wiley & Sons.

Debido a que una serie de tiempo puede ser de un orden mayor a uno y con el propósito de tener un modelo ARCH parsimonioso (con menos variables), Bollerslev (1986)²⁶ propuso generalizar el modelo ARCH expresando la varianza como un ARMA. A este modelo le llamó GARCH (1,1) y se definió con la siguiente fórmula:

$$\sigma_t^2 = w + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (2.13)$$

Donde σ_t es la varianza condicional de los términos ε_t^2 . Dónde: $w > 0$ y $\alpha, \beta \geq 0$ son parámetros que aseguran que la varianza es positiva; la varianza promedio incondicional se encuentra estableciendo que $\sigma_t^2 = \sigma_{t-1}^2 = \sigma$. Despejando σ se tiene:

$$\sigma = \frac{\alpha_0}{1 - \alpha_1 - \beta} \quad (2.14)$$

Para que el modelo sea estacionario, la suma de los parámetros $\alpha_1 + \beta$ debe ser menor a la unidad, a lo que se le llama persistencia. También el hecho de que $\alpha_1 + \beta < 1$, asegura que los pronósticos de volatilidad tienen reversión a la media, es decir, que los pronósticos estarán más cercanos al promedio de la volatilidad en el mediano y largo plazo.

Si se compara el modelo de volatilidad dinámica con el modelo GARCH, se observa lo siguiente²⁷:

$$\sigma_t = \sqrt{\lambda \sigma_{t-1}^2 + (1 - \lambda) R_t^2} \quad (2.15)$$

$$\sigma_t = \sqrt{w \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2} \quad (2.16)$$

Se puede observar que β en el modelo GARCH es equivalente a λ (*factor de decaimiento*) en la volatilidad exponencial, y que α en el modelo GARCH es equivalente a $1 - \lambda$ en el modelo exponencial. Por lo tanto, la volatilidad dinámica o exponencial es un caso particular del modelo GARCH donde la persistencia es igual a uno y $w=0$.

2.4 Modelo de Markowitz

Cuando se habla de la gestión de un portafolio de inversión, siempre sale a relucir el nombre de Harry M. Markowitz, para la gran mayoría el padre de la teoría moderna de portafolios, que en 1952 publicó en el *Journal of Finance* con el título de *Portfolio Selection*, su famosa teoría.

²⁶ Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of econometrics*, 31(3), 307-327.

²⁷ De Lara, A., *op. cit.*, pp. 86.

Podemos definir a un portafolio como una combinación de activos. El objetivo de la formación de portafolios es reducir el riesgo mediante la diversificación. La teoría de la cartera trata de la selección de portafolios óptimos, es decir, portafolios que proporcionan el rendimiento más alto posible en cualquier grado específico de riesgo, o el riesgo más bajo posible en cualquier tasa de rendimiento. Matemáticamente, una cartera formada por n activos individuales, puede representarse a través de un vector columna W de ponderaciones, de n elementos. O lo mismo, mediante el vector transpuesto de W:

$$W^T = [W_1, W_2, \dots, W_n] \quad (2.17)$$

Tal que $\sum_{i=1}^n W_i = 1$, donde W_i es la porción del presupuesto total, invertido en el activo i. De manera matricial, esto es:

$$W^T \mathbf{1}_n = 1 \quad (2.18)$$

Donde $\mathbf{1}_n$ representa un vector columna cuyos elementos son iguales a 1. La anterior expresión indica que se invierte la totalidad de un presupuesto dado, en un conjunto de activos. Siendo las rentabilidades de los activos financieros variables aleatorias, el rendimiento de un portafolio es una suma ponderada de variables aleatorias (donde el inversionista escoge las ponderaciones), de la siguiente forma:

$$R = w_1 r_1 + w_2 r_2 + \dots + w_i r_i \quad (2.19)$$

Donde R es la rentabilidad del portafolio, y r_i el rendimiento del título i. Por tanto, R es también una variable aleatoria. El valor esperado de una suma ponderada es el resultado ponderado de los valores esperados (Markowitz, 1959)²⁸, así, el valor esperado de R_p se calcula como:

$$E(R) = E(\sum r_i w_i) = \sum E(r_i) w_i = \sum \bar{r}_i w_i = \bar{R} \quad (2.20)$$

Donde se tiene en cuenta el hecho de que los ponderadores w_i no son variables aleatorias (porque son fijadas por el inversionista). Matricialmente, la expresión anterior se puede escribir como:

$$E(R) = W^T \bar{r} = \bar{R} \quad (2.21)$$

Esto es, el producto entre el vector transpuesto de ponderaciones W y el vector de rendimientos esperados individuales r, que genera como resultado un número escalar.

Para estimar el riesgo de un portafolio, se utiliza la varianza, dado que R es una suma ponderada de variables aleatorias, se deben calcular primero las covarianzas entre pares de rendimientos de los activos, las cuales se definen como:

²⁸ Markowitz, H., 1959. *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investment*, New York; John Wiley.

$$\sigma_{ij} = E[(r_i - \bar{r}_i)(r_j - \bar{r}_j)] \quad (2.22)$$

En donde r_i es el rendimiento observado del activo i , \bar{r}_i es la media de los rendimientos del activo i , r_j es el rendimiento observado del activo j y \bar{r}_j es la media de los rendimientos del activo j .

Una vez conocidas las covarianzas entre pares de activos, se puede definir la varianza de una cartera (Markowitz, 1952) como:

$$\sigma_p^2 = E \left[(R - E(R))^2 \right] = E \left[\left(\sum_{j=1}^N W_j R_j - \sum_{j=1}^N W_j E(R_j) \right)^2 \right] = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N W_j W_i \sigma_{ji} \quad (2.23)$$

Lo cual, matricialmente puede expresarse como:

$$\sigma_p^2 = W^T \Omega W \quad (2.24)$$

Donde Ω es la matriz Varianza Covarianza de los rendimientos esperados de los títulos individuales.

En esta expresión, se puede observar que la varianza del portafolio, está en función de las varianzas de los activos individuales y sus covarianzas, y que entre menores sean las covarianzas, menor es el riesgo de la cartera. Por tanto, para minimizar la varianza de los portafolios no es suficiente invertir en muchos activos, también es necesario evitar invertir en títulos con altas covarianzas entre ellos (Markowitz, 1952)²⁹.

2.4.1 Determinación de la Frontera Eficiente de Markowitz

Una vez conocida la forma de calcular el rendimiento esperado y la varianza de un portafolio, se puede encontrar un conjunto de carteras que dentro de todas las posibles, cumplan con el siguiente criterio: dado un nivel particular de desviación estándar, los portafolios en este conjunto tienen la tasa de rendimiento esperado más alta posible (Haugen, 1986)³⁰, cuya representación gráfica se llama Frontera Eficiente.

Para encontrar matemáticamente esta frontera, se debe resolver el siguiente problema, para diferentes valores de rendimiento esperado (Medina, 2003)³¹:

$$\text{Minimizar } W^T \Omega W \quad (2.25)$$

Sujeto a

$$\bar{R}^K = W^T \bar{r} \quad (2.21)$$

²⁹ Markowitz, H. (1952). *The utility of wealth*. *Journal of political Economy*, 60(2), 151-158.

³⁰

³¹ Medina, L.Á. (2003). *Aplicación de la Teoría del Portafolio en el Mercado Accionario Colombiano*. Cuadernos de Economía;

$$W^T \mathbf{1}_n = 1 \quad (2.18)$$

Lo cual significa que se encuentra un portafolio de mínima varianza para cada nivel particular de rendimiento del portafolio (primera restricción), dentro de todas las carteras posibles y que las ponderaciones de los activos deben sumar 1 (lo cual constituye la segunda restricción).

Por tanto, representa un nivel determinado de rendimiento esperado del portafolio, al que se le debe asignar diferentes valores. Para resolver dicho problema se aplica el método de Lagrange (Medina, 2003)³²:

$$L = W^T \Omega W + \lambda_1 (W^T \bar{r} - \bar{R}^k) + \lambda_2 (W^T \mathbf{1}_n - 1) \quad (2.26)$$

$$\frac{dL}{dW} = 2\Omega W + \lambda_1 \bar{r} + \lambda_2 \mathbf{1}_n = \mathbf{0}_n \quad (2.27)$$

$$\frac{dL}{d\lambda_1} = W^T \bar{r} - \bar{R}^k = 0 \quad (2.28)$$

$$\frac{dL}{d\lambda_2} = W^T \mathbf{1}_n - 1 = 0 \quad (2.29)$$

Al multiplicar por 1/2 en los dos lados de la ecuación (2.27) y despejando \bar{R}^k y 1 de las ecuaciones (2.28) y (2.29), el sistema puede representarse matricialmente como:

$$\begin{pmatrix} \Omega & \bar{r} & \mathbf{1}_n \\ \bar{r}^T & 0 & 0 \\ \mathbf{1}_n^T & 0 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} W \\ \frac{\lambda_1}{2} \\ \frac{\lambda_2}{2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{R}^k \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.30)$$

Para encontrar los valores de w_i o los elementos del vector W , que minimizan la varianza del portafolio, dado un nivel de rendimiento esperado de la cartera, se despeja W , $\lambda_1/2$ y $\lambda_2/2$ quedando el anterior sistema así:

$$\begin{pmatrix} W \\ \frac{\lambda_1}{2} \\ \frac{\lambda_2}{2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Omega & \bar{r} & \mathbf{1}_n \\ \bar{r}^T & 0 & 0 \\ \mathbf{1}_n^T & 0 & 0 \end{pmatrix}^{-1} * \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{R}^k \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.31)$$

³² *Ídem.*

Entonces, para construir el conjunto de Portafolios de Mínima Varianza, se debe resolver (2.31) fijando diferentes valores a \bar{R}^k .

Así, para construir la Frontera Eficiente, se minimiza la varianza de diferentes carteras, a las cuales se les asignan rendimientos esperados, por encima del rendimiento del portafolio de mínimo riesgo. De ese conjunto de portafolios eficientes, un inversionista elige aquella posición que maximiza su utilidad, la cual se asume en función del rendimiento esperado y la varianza de los portafolios, esto es, elige un punto que se sitúe en la curva de indiferencia que representa su nivel más alto de utilidad alcanzable.

Al escoger entre posiciones de inversión, el inversionista prefiere aquella que le da el rendimiento esperado mayor si los riesgos involucrados en las posiciones son los mismos; y si los rendimientos esperados son iguales, el inversionista elige la posición con menor riesgo, medido por la varianza o la desviación estándar del rendimiento, pertinentes a su inversión.

Por tanto, el inversionista es averso al riesgo. Estas suposiciones implican que la curva de indiferencia del inversionista es cóncava cuando el rendimiento esperado es ubicado en el eje vertical y la desviación estándar en el eje horizontal.

2.4.2 Determinación de la Frontera Eficiente con restricciones a la venta en corto

Cuando no es posible realizar ventas en corto se introduce una nueva restricción al problema [2.25], $w_i \geq 0_n$, para $i = 1, 2, \dots, n$. Dado que la restricción es de desigualdad, la solución no puede determinarse por el método de Lagrange. El problema [2.25] con restricción a la venta en corto, se puede resolver a través de la programación cuadrática: un método de optimización para funciones objetivo cuadráticas con restricciones de desigualdad y/o igualdad. El problema queda expresado como:

$$\text{Minimizar } W^T \Omega W \quad (2.25)$$

Sujeto a

$$\bar{R}^K = W^T \bar{r} \quad (2.21)$$

$$W^T \mathbf{1}_n = 1 \quad (2.18)$$

$$w \geq 0_n \quad (2.32)$$

La tercera restricción $w \geq 0_n$ indica que cada componente del portafolio no debe ser negativo. El problema anterior debe ser desarrollado por algún algoritmo que busque iterativamente un vector de ponderadores tal que arroje las soluciones.

2.4.3 La maximización de la utilidad esperada con un portafolio de sólo acciones

El problema de encontrar un portafolio óptimo que haga máxima las preferencias puede plantearse como

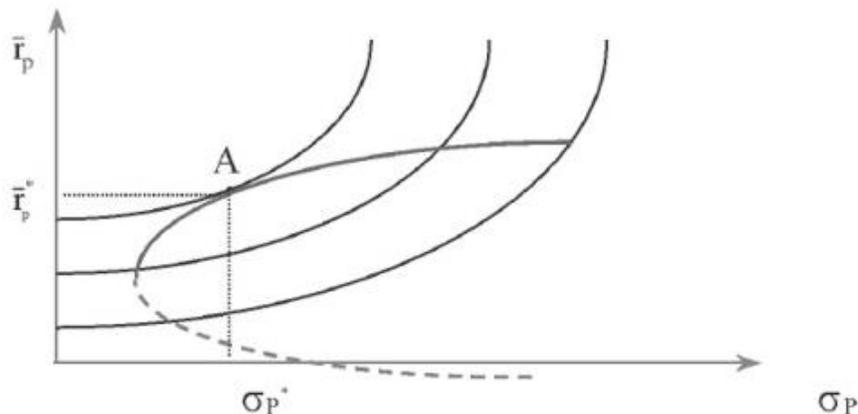
$$\text{Maximizar } UE = u(\sigma_p^2, \bar{r}_p) \quad (2.33)$$

Sujeto a

$$W^T \mathbf{1}_n = 1 \quad (2.18)$$

La solución al problema de maximización de la utilidad esperada se exhibe en la ilustración 2.2. La máxima utilidad esperada se logra en el punto de tangencia de la frontera Eficiente con la curva de indiferencia del inversor.

ILUSTRACIÓN 2.2 PORTAFOLIO DE MAXIMA UTILIDAD (PUNTO A)



Fuente: (Medina, 2003)

2.4.4 Diversificación real de un portafolio

Para Domínguez (2015)³³ se entiende como diversificación:

La Diversificación de un portafolio de forma simple se puede entender como la inversión distribuida de manera uniforme de activos, esto es, que todos tendrán el mismo peso al invertir, sin embargo, si esto pasará estaríamos dejando a un lado la covarianza o correlación de los valores. El tomar en cuenta la correlación de activos permite la minimización del riesgo debido a que se combinan y se compensan las variabilidades de estos para obtener un mejor resultado.

Derivado de lo anterior, los portafolios de inversión, compuestos por un número pequeño de activos están sujetos a un mayor riesgo, por lo que presentan una varianza alta.

³³ Domínguez Mondragón, Adriana (2015). *Modelo de Markowitz y Simulación Monte Carlo aplicados a un portafolio de inversión con acciones del IPC. 2013-2015.*

Como regla general, la varianza del rendimiento de un portafolio de inversión, puede ser reducida añadiendo nuevos activos al portafolio, proceso que es conocido como diversificación.

Los efectos de la diversificación pueden ser cuantificados a través de las fórmulas para combinar las varianzas, es decir cambiar las ponderaciones de cada activo para poder modificar la varianza total del portafolio.

Pero aun cuando el número de activos en un portafolio se hiciera muy grande, la varianza del rendimiento del portafolio, nunca podría llegar a ser cero; la varianza siempre tiene un límite inferior que se llama riesgo sistemático, o de mercado, porque siempre estará presente, independientemente del buen o mal desempeño de cada empresa. El riesgo propio de un activo se llama riesgo no sistemático y este es, precisamente, el riesgo que la diversificación puede llegar a reducir.

Como bien señala Marín & Rubio (2001)³⁴:

El límite de la diversificación está relacionado con la covarianza entre los rendimientos de los activos o, alternativamente y bajo el contexto del modelo de mercado, dicho límite está relacionado con las covarianzas entre el rendimiento de la cartera diversificada y el rendimiento de la cartera de mercado. Es decir, es el propio factor de riesgo, en este caso el factor de riesgo es naturalmente el propio mercado el que marca los límites de la diversificación y marca los límites a la posible reducción del riesgo en la gestión de carteras.

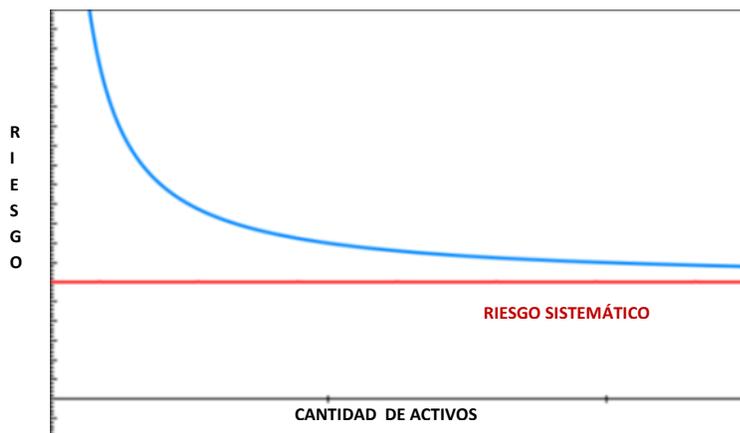
Este riesgo de mercado al que hace alusión Marín y Rubio, es el riesgo sistemático que ya definimos como el riesgo del mercado financiero y este existe debido a la situación económica/financiera del país, es decir que, si la economía del país empieza a decaer, el activo tiene una alta probabilidad de que lo refleje y si la economía tiene una aceleración importante, el activo del portafolio seguirá el comportamiento al alza del mercado.

Para reducir el riesgo sistemático o de mercado, se debe diversificar la inversión en varios países o en varias regiones económicas, siempre conscientes de que nunca se llegará a cero, es decir a prever el riesgo mundial de los mercados financieros. Conforme se incorporan más activos al portafolio de inversión, el riesgo no sistemático disminuye. Esta reducción es mayor si las correlaciones o las covarianzas promedio entre los activos del portafolio que se incorporan, son menores al promedio del portafolio.

³⁴ Marín, J. M., & Rubio, G. (2001). "El modelo de valoración de activos financieros bajo ausencia de arbitraje" en *Economía financiera*. Antoni Bosch Editor, pp. 326-327.

En la ilustración 2.3, el eje de las abscisas (X) muestra la cantidad de activos y el eje de las ordenadas (Y) muestra el riesgo. En la línea azul se observa que conforme el número de activos aumenta, el riesgo disminuye, pero eventualmente tiende a la línea roja, esta línea roja representa al riesgo sistemático o de mercado.

ILUSTRACIÓN 2.3 EFECTOS DE LA DIVERSIFICACIÓN



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA USANDO GEOGEBRA.

2.4.5 Los resultados de la diversificación eficiente

- 1) Mejora el *trade-off*, es decir disminuye el efecto de la pérdida de un activo al combinar su participación, en el portafolio, con otros activos que presentan menor probabilidad de pérdida, logrando que el riesgo-rendimiento de la correlación entre los rendimientos individuales sea menor a 1.0.
- 2) La incorporación de activos que posean una correlación negativa con los demás, hace que ante un evento económico que repercuta en el mercado financiero, se contrarresta el efecto de ese evento.
- 3) A medida que aumenta la diversificación la varianza del portafolio tiende a la covarianza promedio, por lo tanto, la covarianza entre los activos se vuelve más importante que las desviaciones estándar de cada activo. Esto se logra porque al aumentar el número de activos en un portafolio, el resultado total depende menos del resultado de uno de los activos en particular. Esto significa que el componente de riesgo específico (no sistemático) disminuye con la diversificación, predominando el riesgo del mercado (asociado a la covarianza entre activos).

2.5 Modelo de valuación de Activos de capital (CAPM – Capital Asset Pricing Model)

Para Sánchez (2001)³⁵, existen algunos problemas que surgen en el uso del modelo de Markowitz a la hora de calcular los siguientes estadísticos:

- N rentabilidades esperadas
- N varianzas o desviaciones estándar de dichas rentabilidades (el cálculo de estas también implica otros problemas que se vieron en anexos anteriores)
- $(N^2-N)/2$ covarianzas o coeficientes de correlación.

2.5.1 Línea característica

William F. Sharpe, entre otros, simplificó el proceso de obtención de estadísticos (inputs) necesarios para la aplicación del modelo de Markowitz. Sharpe, sugirió abandonar el cálculo de la covarianza de cada par de valores existentes, sustituyéndolos por otra variable obtenida de la relación existente entre cada valor y la representó con la siguiente ecuación de regresión:

$$r_{it} = \alpha_i + \beta_i r_{lt} + e_{it} \quad (2.34)$$

Dónde:

r_{it} = rendimiento del valor i

α_i = intersección de la recta de regresión con el eje de ordenadas

β_i = coeficiente beta, pendiente de la recta de regresión

r_{lt} = rentabilidad del benchmark

e_{it} = error aleatorio (distribuido normalmente)

Coefficiente alfa:

Es el punto de intersección de la línea de regresión con el eje de ordenadas e indican la rentabilidad esperada del valor de i cuando la del mercado es nula; generalmente se asocia a un activo libre de riesgo.

Estadísticamente, este coeficiente alfa solo puede ser significativo cuando en la regresión se realiza una traslación de ejes.

³⁵ Sánchez Valderrama F. José L. 2001. “Capítulo 30 La renta Variable en un modelo de gestión eficiente de carteras” en *Curso de bolsa y mercados financieros*, 2a ed. editorial Ariel. Madrid España.

Coefficiente beta:

El segundo coeficiente, y el más importante es la beta, que es la pendiente de la recta de regresión y mide la sensibilidad de la rentabilidad del valor “i” respecto a los movimientos del Benchmark.

El coeficiente beta puede tomar los siguientes valores:

$\beta < 1$ indica una variabilidad menor al benchmark

$\beta = 1$ indica una variabilidad igual al benchmark

$\beta > 1$ indica una variabilidad mayor al benchmark

Por lo tanto, el riesgo sistémico es medido por el coeficiente beta.

Matemáticamente el coeficiente beta puede ser representado por:

$$\beta_{(i,B)} = \frac{cov(r_i, r_B)}{\sigma_B^2} = cov(r_i, r_B) \frac{1}{\sigma_B^2} = \frac{\rho_{iB} \sigma_i \sigma_B}{\sigma_B^2} = \frac{\sigma_{iB} \sigma_i}{\sigma_B} \quad (2.35)$$

Se puede ver claramente la relación existente entre el coeficiente beta y la covarianza.

Error aleatorio:

La tercera medida es el error aleatorio, el cual mide el riesgo no sistémico.

Si aceptamos que el riesgo sistémico se ha eliminado por diversificación, la rentabilidad esperada del valor “i” vendrá definida por:

$$E(R_i) = R_F + \beta_i [E(R_i) - R_F] \quad (2.36)$$

Dónde:

R_F = Es el rendimiento del activo libre de riesgo

$E(R_i)$ = la rentabilidad esperada del mercado durante el próximo periodo

β_i = Coeficiente beta del valor “i”

En otras palabras, la rentabilidad esperada del valor “i” es igual a la rentabilidad requerida por el mercado para el activo sin riesgo, más un premio que es función de la diferencia existente entre la rentabilidad del mercado y la del activo con riesgo y del riesgo sistémico.

Security Market Line (SML)

En un mercado en equilibrio, la relación entre la rentabilidad esperada y su riesgo sistemático (medido por la beta), es lineal. Esta relación es conocida como la SML y se puede representar por la siguiente ecuación:

$$E(R_i) = R_F + \beta_i[E(R_B) - R_F] \quad (2.37)$$

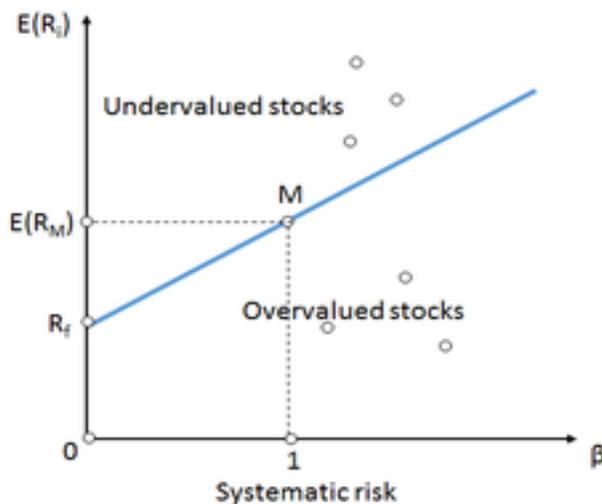
Bajo los principios del CAPM, todos los valores o portafolios, deben encontrarse a lo largo de esta línea (SML). La esencia de la diversificación es combinar valores que tengan baja correlación entre ellos, para de este modo diversificar el riesgo no sistemático.

Algunas consideraciones importantes de la SML son:

- Valores por encima de la SML, son valores cuyo precio se encuentra por debajo del que les corresponde en equilibrio; son valores subvalorados, con una rentabilidad superior a la que les corresponde por su nivel de riesgo sistémico. Tarde o temprano son objeto de demanda, lo que hace que el precio aumente hasta llegar a la rentabilidad de equilibrio situada en la SML.
- Valores por debajo de la SML, son títulos sobrevalorados cuya rentabilidad no es suficiente para inducir al inversor a aceptar su nivel de rentabilidad y riesgo, su precio tendrá que disminuir hasta llegar al punto de equilibrio en la SML.

La ilustración (2.4) nos muestra de manera resumida estas consideraciones.

ILUSTRACIÓN 2.4 MODELO CAPM



Fuente: (Medina, 2003)

2.6 Medidas de performance³⁶

- Alfa de Jensen. Este indicador se construye desarrollando la siguiente regresión de mínimos cuadrados ordinarios (MCO)

$$R_p - R_f = \alpha_p + \beta_p(R_m - R_f) + \varepsilon_p \quad (2.38)$$

Dónde:

R_p = Rentabilidad del portafolio

R_f = Activo libre de riesgo

α_p = Componente de la rentabilidad que no está relacionado con la cartera de referencia

β_p = Sensibilidad del portafolio a los movimientos de la cartera de referencia o *Benchmark*

R_m = Rentabilidad del *Benchmark*

ε_p = Componente idiosincrásico de la rentabilidad del portafolio

El alfa de Jensen mide el exceso de rentabilidad obtenido por la cartera ajustada al riesgo respecto a la cartera de mercado. Es una medida de evaluación en términos absolutos que expresa la habilidad del gestor para obtener diferencias positivas o negativas respecto a la rentabilidad ajustada al riesgo sistemático de la cartera.

- Índice de Sharpe

Mide el exceso de rentabilidad sobre la tasa de interés libre de riesgo obtenido por el portafolio por unidad de volatilidad o riesgo propio del portafolio. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{R_p - R_f}{\sigma_p} \quad (2.39)$$

Para la aplicación de este índice se utilizan rendimientos históricos; cuando el resultado es un valor positivo y grande implica altos niveles de rendimiento y baja variabilidad; por el contrario, las razones negativas y valores negativos grandes implican rendimientos inferiores a la tasa libre de riesgo y baja variabilidad.

El índice de Sharpe determina qué tan bueno fue el desempeño de un portafolio al compararlo con el respectivo índice del portafolio de referencia o *Benchmark*.

- Índice de Treynor

Mide el exceso de rentabilidad del portafolio sobre el activo libre de riesgo por unidad de riesgo sistemático. Se calcula con la siguiente fórmula:

³⁶ Todas las fórmulas presentadas, junto con su interpretación se extrajeron de Lamothe Fernandez, 1999.

$$T = \frac{R_p - R_f}{\beta_p} \quad (2.40)$$

Este índice representa el cociente de dividir la diferencia del rendimiento medio del portafolio y el rendimiento de un activo libre de riesgo entre el riesgo sistemático del portafolio medido por el coeficiente β de la regresión entre las rentabilidades del portafolio y el *Benchmark* elegido. Este coeficiente permite comparar de forma racional varios fondos de inversión o carteras en función de sus comportamientos pasados, aun cuando tengan volatilidades diferentes.

El índice de Treynor se basa en la cartera de referencia y consiste en dividir el retorno en exceso promedio entre el riesgo de mercado del portafolio, expresando así la rentabilidad del fondo por unidad de riesgo beta.

- Razón de Información

En la práctica de la gestión de portafolios se ha extendido su uso, esta razón mide el desempeño de la cartera en relación con la evolución del *Benchmark*. Se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$RI = \frac{R_p - R_B}{\sigma_{pB}} \quad (2.41)$$

Siendo:

σ_{pB} = La desviación estándar de los diferenciales de rentabilidad entre el portafolio y el *Benchmark* durante el periodo de análisis.

La razón de información presenta ciertas ventajas, que son:

- No asume el cumplimiento de ningún modelo específico de equilibrio del mercado
- Mide adecuadamente el valor añadido por el gestor al estimar la diferencia de rentabilidad entre la cartera y el *Benchmark*.

2.7 El teorema de la separación

El teorema de separación planteado por James Tobin, en 1958 (Premio Nobel de Economía en 1983), demuestra que cualquier inversionista toma 2 decisiones. La primera decisión es meramente técnica y consiste en escoger la cartera óptima conformada solo por activos riesgosos independientemente de su aversión al riesgo. La segunda decisión es la construcción de la cartera completa que consiste en elegir la combinación entre títulos riesgosos y títulos sin riesgo.

Como lo propuso Tobin (1958)³⁷, la decisión de que proporción del presupuesto invertir en ese activo sin riesgo y qué proporción en los activos de renta variable, se puede separar. Independientemente de cuánta sea esa proporción, dada una tasa libre de riesgo, para Tobin se podría encontrar un portafolio de activos riesgosos que, al combinarse con el activo libre de riesgo de acuerdo a las preferencias del inversionista, tendría unas ponderaciones que generarían el mínimo riesgo y el máximo rendimiento esperado.

Si a la combinación de un activo libre de riesgo, con una cartera de n activos riesgosos (en este caso acciones) se le llama portafolio global, la rentabilidad esperada de ese portafolio se encuentra de la siguiente manera (Medina, 2003)³⁸:

$$\bar{R}_{pg} = \phi \bar{R} + (1 - \phi)R_f \quad (2.42)$$

Donde es el rendimiento esperado del portafolio global, ϕ es la proporción del presupuesto invertido en la cartera de acciones, \bar{R} es la tasa esperada de rendimiento del portafolio de acciones y R_f la tasa libre de riesgo. El riesgo del portafolio global se obtiene como se indica a continuación:

$$\sigma_{pg}^2 = \phi^2 \sigma_p^2 + (1 - \phi)^2 \sigma_f^2 + 2\phi(1 - \phi)\sigma_{pf} = \phi^2 \sigma_p^2 \quad (2.43)$$

Donde σ_{pg}^2 es la varianza del portafolio global, σ_p^2 es la varianza de la cartera de acciones, σ_f^2 es la varianza del activo libre de riesgo y σ_{pf} es la covarianza entre el rendimiento esperado del portafolio de acciones y la tasa libre de riesgo. En la ecuación (2.42) se tiene en cuenta que la tasa libre de riesgo, por definición, tiene una varianza y una covarianza con otros activos iguales a cero. Si se supone que se puede comprar o vender el activo sin riesgo (para apalancar la compra de activos de riesgo) y se grafica el rendimiento esperado y la varianza de diferentes portafolios globales, el resultado es una línea recta, que tiene su origen en la tasa libre de riesgo y se extiende indefinidamente.

Dada la forma hiperbólica (si se hace con respecto a la desviación estándar en lugar de la varianza) del conjunto de mínima varianza, se puede encontrar el conjunto con las mejores oportunidades de compra, extendiendo la línea recta desde v y haciéndola tocar de manera tangente el conjunto de mínima varianza. La pendiente de esa recta es la siguiente (Haugen, 1986)³⁹:

$$\theta = \frac{W^T[r - R_f]}{[W^T \Omega W]^{1/2}} \quad (2.44)$$

Donde R_f es un vector cuyos n elementos son iguales a la tasa libre de riesgo, y θ es la pendiente de la recta. Entonces, para encontrar el punto tangente entre la línea recta con un

³⁷ Tobin, J. (1958). Liquidity preference as behavior towards risk. The review of economic studies, 25(2), 65-86.

³⁸ Medina, L.Á., *op. cit.*

³⁹ Haugen, R.A. (1986). Modern Investment Theory. New Jersey: Prentice Hall.

origen en R_f y el conjunto de mínima varianza, se deben estimar los elementos de la matriz W , que maximizan la pendiente de la recta:

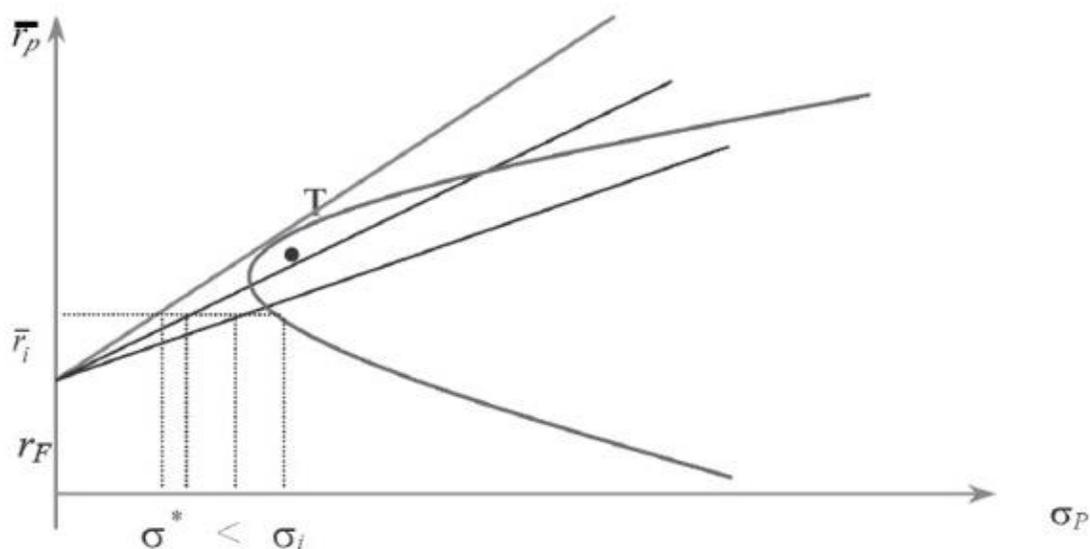
$$\text{Maximizar } \theta = \frac{W^T[r-R_f]}{[W^T\Omega W]^{1/2}} \quad (2.45)$$

Para hacerlo, se iguala a cero la primera derivada de la función respecto a W , y se despeja W (Medina, 2003)⁴⁰:

$$W = \frac{\Omega^{-1}[r-R_f]}{[\Omega^{-1}\Omega W]^T 1_n} \quad (2.46)$$

Lo cual da como resultado, las ponderaciones o la parte del presupuesto asignado a cada título del portafolio de Tobin.

ILUSTRACIÓN 2.5 FRONTERA EFICIENTE (LINEA TANGENTE) AL INCLUIR UN ACTIVO LIBRE DE RIESGO



Fuente: (Medina, 2003)

Como se puede observar en la ilustración 2.5, el portafolio óptimo es el que se encuentra en el punto tangente entre la recta CML (*Capital Market Line*) y la Frontera Eficiente.

Según el modelo CAPM, el portafolio óptimo se determina maximizando la pendiente de la CML o la prima por riesgo esperada por unidad de desviación estándar.

Por consiguiente, la fórmula 12 guarda una relación directa con la razón de Sharpe; en la práctica la función objetivo del modelo será la maximización de la tangente, por lo tanto, el problema a resolver será:

⁴⁰ Medina, L.Á., *op. cit.*

$$\text{Maximizar } \theta = \frac{\overline{R_p - R_f}}{\sigma_p} \quad (2.47)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1$$

$$W_i \geq 0$$

Este problema será la base con la cual se calculará el portafolio óptimo o máximo de Sharpe en la sección 5.

2.8 Capture Ratio

El *Capture Ratio* es una medida estadística del desempeño general de un administrador de inversiones en los mercados tanto alcistas como bajistas. Se utiliza para evaluar qué tan bien se desempeñó un administrador de inversiones en relación con un índice.

El *Upside Capture* (UC) se calcula tomando el rendimiento mensual del portafolio durante los meses en que el índice de referencia tuvo un rendimiento positivo y dividiéndolo por el rendimiento del índice de referencia durante ese mismo mes.

Por su parte el *Downside Capture* (DC) se calcula tomando el rendimiento mensual del portafolio durante los períodos de rendimiento negativo del índice de referencia y dividiéndolo por el rendimiento del índice de referencia.

Pero es esencial conocer detalles sobre esta medida para sacar una conclusión de ella.

Por lo tanto, para comprender esto, se usará un ejemplo:

Fondo A: 14.97% (CAGR a 10Y).

Fondo B: 14.11% (CAGR a 10Y).

Entonces, en términos de retornos históricos, no hay mucha diferencia entre el Fondo A y el Fondo B.

En este escenario, ¿cómo puede decidir un inversionista qué fondo es mejor?

la respuesta es utilizar el *Upside Capture* y el *Downside Capture*.

Ahora supongamos que el fondo A ha subido 12% anual en los últimos 5 años, mientras que el índice de referencia (IPC) subió, 10% durante el mismo período.

En este caso, el UC será la siguiente:

UC para el fondo A: $12/10 \times 100 = 120\%$

UC para el fondo B = 130%

Por su parte para el DC, el fondo A ha caído 8% anual en los últimos 5 años y el índice de referencia (IPC) bajó 10% durante el mismo período.

En este caso, el DC será la siguiente:

DC para el fondo A: $-8 / -10 \times 100 = 80\%$

DC para el fondo B = 50%

Después de calcular lo anterior, se explicarán dos reglas las cuales nos sirven para interpretar los datos:

Alcista: Para un valor superior al 100% indica que el fondo ha superado a su índice de referencia (en el mercado alcista), lo cual podemos decir que es una buena señal⁴¹.

Bajista: Para un valor inferior al 100% indica que el fondo ha mostrado más resistencia (durante la caída de precios) en comparación con su índice de referencia, lo cual es buena señal⁴².

Volviendo a nuestro ejemplo en términos de rendimiento del fondo durante la fase alcista, el capital del fondo B es mejor que el Fondo A, mientras que, durante la fase bajista, el fondo B también es mejor que el fondo A.

Para finalizar es importante mencionar que se usan diferentes temporalidades para el cálculo del UC y el DC por ejemplo 3,5 y 10 años y se comparan todos esos resultados

El Capture Ratio es una gran herramienta para verificar si el fondo ha funcionado a la par con su índice de referencia.

Por ejemplo, un inversor agresivo debe elegir un fondo en función de su UC. Pero el inversor debe asegurarse de verificar el UC de al menos 3 años, 5 años y 10 años (los horizontes de tiempo más cortos pueden no dar una perspectiva correcta)

Del mismo modo, un inversor defensivo debería elegir un fondo mutuo en función de su menor captura a la baja.

⁴¹ En cambio, si el valor es inferior al 100% en el mercado alcista, significa que el fondo ha tenido un rendimiento inferior, lo cual es una mala señal.

⁴² Si el valor es superior al 100%, significa que el fondo perdió más que su índice de referencia, lo cual es una mala señal.

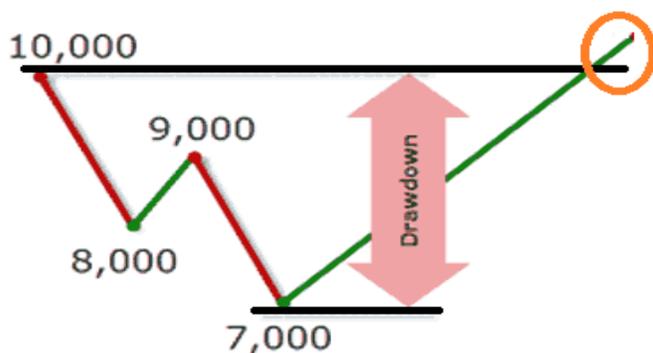
2.9 DrawDown

El *drawdown*, también conocido como retroceso de la curva de resultados, mide el retroceso actual en la curva de resultados respecto al máximo anterior en dicha curva y es una forma de medir el riesgo en un sistema de *trading* (ya sea automático o no)⁴³.

Veamos un caso a modo de ejemplo con el que se entenderá mejor. Hemos estado invirtiendo siguiendo las pautas de un sistema y hemos llegado a ganar 10.000 euros con él. Actualmente estamos atravesando una mala racha y nuestros beneficios se han visto reducidos a 7.000 Euros, por lo que estaremos sufriendo un *drawdown* de 3.000 euros.

El *drawdown* seguirá vigente hasta que la curva de resultados no supere el anterior máximo de ganancias, es decir, hasta que no supere los 10.000 euros (círculo naranja, en la siguiente gráfica). Este ejemplo puede ser apreciado de manera gráfica en la ilustración 2.6.

ILUSTRACIÓN 2.6 DRAWDOWN



Fuente: <https://esbolsa.com/blog/control-de-riesgo/drawdown/>

⁴³ Esta definición se obtuvo de <https://esbolsa.com/blog/control-de-riesgo/drawdown/>

Capítulo 3 Metodologías para medición del VaR

Introducción

En este capítulo se presentan algunas de las metodologías para medir el Valor en Riesgo (VaR); el capítulo comienza presentando los métodos paramétricos (en este caso el método conocido como paramétrico o gaussiano), el segundo grupo son los métodos no paramétricos, donde se encuentran los métodos de simulación histórica y simulación Monte Carlo; después de ello se explican a los métodos alternativos de cálculo del Valor en Riesgo, comenzando con las medidas de riesgo explicando las medidas coherentes de riesgo y si el VaR es un ejemplo de estas, para después continuar con el *Expected Shortfall* así como su desarrollo y finalmente se aborda de manera resumida otro método el cual es el uso de la teoría de valores extremos para el cálculo del VaR.

3.1 Método paramétrico

Los métodos que enseguida se presentan tienen en común que los rendimientos del activo se distribuyen de manera normal.

3.1.1 Modelo para un activo financiero

Bajo el supuesto de normalidad, para obtener el Valor en Riesgo de un activo se calcula con la siguiente fórmula:

$$VaR = F * S * \sigma \sqrt{t} \quad (3.1)$$

Dónde:

F: Factor que determina el nivel de confianza. Ejemplo para un nivel de confianza de 95%, F=1.65.

S = Monto total de la inversión

σ = Desviación estándar de los rendimientos del activo

t = Horizonte temporal en el que se calcula el tiempo

3.1.2 Modelo para n activos financieros

También llamado método de varianza-covarianza o delta-normal. Para entender la idea de este método se usará un ejemplo de 2 activos (A y B); w_A será el peso del activo 1 y w_B para el activo 2; donde ($w_A + w_B = 1$). De acuerdo a la teoría desarrollada por Markowitz, la varianza del portafolio se construye de acuerdo a lo siguiente:

$$\sigma_p^2 = w_A^2 \sigma_A^2 + w_B^2 \sigma_B^2 + 2w_A w_B \rho_{AB} \sigma_A \sigma_B \quad (3.2)$$

Donde ρ (rho) es el coeficiente de correlación entre los rendimientos de los 2 activos.

El VaR del portafolio se construye de la siguiente manera:

$$VaR = F * \sigma_p * S \sqrt{t} = F [w_A^2 \sigma_A^2 + w_B^2 \sigma_B^2 + 2w_A w_B \rho_{AB} \sigma_A \sigma_B]^{1/2} S \sqrt{t} \quad (3.3)$$

Que se puede reescribir como:

$$VaR = [VaR_A^2 + VaR_B^2 + 2\rho_{AB} VaR_A VaR_B]^{1/2} \quad (3.4)$$

Se puede notar que el VaR diversificado es menor a la suma aritmética de los VaR individuales.

Para el caso n activos en el portafolio es necesario usar álgebra lineal. Una matriz muy importante en la medición de riesgos es la llamada matriz de varianza-covarianza. El primer paso para llegar a esta matriz es calcular la matriz de correlaciones; esta última matriz debe

estar compuesta por valores "1" en la diagonal y los elementos fuera de la diagonal son las correlaciones, que se obtienen por medio de la siguiente fórmula:

$$\rho_{ij} = \frac{Cov(r_i r_j)}{\sigma_i \sigma_j} \quad (3.5)$$

Por lo tanto, la matriz de correlaciones (Co) quedaría de la siguiente manera:

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \rho_{13} & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & 1 & \dots & \rho_{2n} \\ \rho_{31} & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n1} & \rho_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Después de obtener la matriz de correlaciones, debemos formar la matriz de volatilidades; para elaborarla, se necesita una matriz cuadrada, donde la diagonal está compuesta por la volatilidad (desviación estándar) de cada activo del portafolio y los elementos fuera de la diagonal sean 0, ejemplo:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_N \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Después de tener obtener la matriz de volatilidades, se multiplica de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\Sigma = \sigma * (Co) * \sigma \quad (3.8)$$

Dónde:

σ = Matriz de volatilidades

Co = Matriz de Correlaciones

Σ = Matriz varianza-covarianza

La matriz varianza-covarianza tiene como particularidad que la diagonal de la matriz está compuesta por las varianzas y los elementos fuera de la diagonal por covarianzas, esto es:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & cov(r_1 r_2) & cov(r_1 r_3) & \dots & cov(r_1 r_N) \\ cov(r_2 r_1) & \sigma_2^2 & cov(r_2 r_3) & \dots & cov(r_2 r_N) \\ \vdots & \dots & \sigma_3^2 & \ddots & \vdots \\ cov(r_N r_1) & cov(r_N r_2) & cov(r_N r_3) & \dots & \sigma_N^2 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Utilizando la teoría moderna de portafolios, para calcular el VaR de un portafolio de n activos, es necesario considerar los efectos de la diversificación con las correlaciones entre los rendimientos de los activos que forman el portafolio.

La metodología a seguir es:

$$VaR_p = F * S * \sigma_p * \sqrt{t} \quad (3.10)$$

$$\sigma_p = \sqrt{(w)^T * (\Sigma) * (w)} \quad (3.11)$$

Dónde:

F: Factor que determina el nivel de confianza. Ejemplo para un nivel de confianza de 95%, F=1.65.

S = Valor del portafolio

σ_p = Es la desviación estándar del portafolio (1*1)

t = Horizonte temporal en el que se calcula el tiempo

w = Vector de pesos de las posiciones del portafolio (1*n)

w^T = vector transpuesto de los pesos de las posiciones del portafolio (1*n)

Σ = Matriz varianza-covarianza del portafolio (n*n)

3.1.3 Simulación Monte Carlo

El método de Monte Carlo es un método estadístico (no determinístico) que proporciona soluciones aproximadas a una gran variedad de problemas matemáticos, haciendo factible la realización de experimentos con muestreos de números aleatorios en una computadora⁴⁴. El método es aplicable a cualquier tipo de problema.

3.1.3.1 Historia

Su nombre deriva por la ciudad de Montecarlo, en Mónaco, donde se juega “la ruleta”, el juego de azar que genera resultados aleatorios.

Este método surge formalmente en el año 1944, sin embargo, ya existían prototipos y procesos anteriores que se basaban en los mismos principios.

El empleo del método de Monte Carlo para fines de investigación comenzó con el desarrollo de la bomba atómica en la Segunda Guerra Mundial en el Laboratorio Nacional de Los Álamos. Durante el desarrollo de este proyecto, los científicos Von Neumann y Ulam perfeccionaron la técnica y la aplicaron a problemas de cálculo de difusión de neutrones en un material. Alrededor de 1970, los desarrollos teóricos en complejidad computacional comienzan a proveer mayor precisión y relación para el empleo del método.

⁴⁴ Se utilizó información de esta página <https://cuantozombi.com/2012/11/17/monte-carlo/>

La simulación de Monte Carlo también fue creada para resolver integrales que no se pueden resolver por métodos analíticos, para solucionar estas integrales se usaron números aleatorios. Posteriormente fue utilizado para cualquier esquema que emplee números aleatorios, usando variables aleatorias con distribuciones de probabilidad conocidas.

3.1.3.2 Desarrollo del Método

De acuerdo con Jorion (2008)⁴⁵, la primera fase debería concretarse en la elección de un modelo estocástico para describir el comportamiento de los precios de los activos en el tiempo. Un modelo muy utilizado es el *movimiento geométrico browniano*; dicho método se le atribuye a Bachelier (1900) en su tesis doctoral titulada “*La teoría de la especulación*”, aunque fue el botánico escocés Robert Brown quien, en 1829 descubrió este movimiento al observar, a través del microscopio, el comportamiento errático del polen suspendido en agua.

3.1.3.2.1 Monte Carlo para 1 activo

El *Movimiento geométrico Browniano* (MGB) supone la no correlación entre las variaciones de precios de un activo en el tiempo y adopta la siguiente ecuación diferencial estocástica:

$$dP_t = P_t * (\mu_t * dt + \sigma_t * dz) \quad (3.12)$$

Dónde:

P_t = Precio del activo en el momento t .

dz = Es una variable aleatoria, normalmente distribuida, con media cero y varianza constante. Se dice que es browniana porque dicha varianza decrece continuamente con el intervalo de tiempo.

μ_t = Parámetro que representa el rendimiento medio instantáneo en el momento t .

σ_t = Volatilidad del rendimiento en el momento t .

Aunque μ y σ pueden evolucionar en el tiempo, por simplicidad asumimos que son constantes, por lo que la fórmula 3.12 queda:

$$\frac{dP_t}{P_t} = \mu dt + \sigma dz \quad (3.13)$$

En este punto es importante aclarar el calificativo de geométrico, ya que se debe a que todos los parámetros son multiplicados por un escalar (P_t).

⁴⁵ Jorion, P., *op. cit.*, pp. 254.

La expresión 3.13 representa movimientos muy pequeños (infinitesimales) en el precio del activo. De forma aproximada, podemos pasar esta ecuación a términos discretos; para ello requerimos definir los siguientes conceptos:

t = momento actual

T = momento objetivo

τ = Tiempo a vencimiento, que es lo mismo que $(T-t)$

Con el objetivo de generar una serie de Variables aleatorias P_{t+1} en el intervalo τ , segmentamos dicho plazo en “ n ” incrementos, de manera que:

$$\Delta t = \frac{\tau}{n} \quad (3.14)$$

Una vez realizadas estas precisiones, se integra la fórmula 3.13, para tener la siguiente expresión:

$$\Delta P_t = P_{t-1} * (\mu \Delta t + \sigma * \varepsilon \sqrt{\Delta t}) \quad (3.15)$$

Donde ε es ahora una variable normal estándar, es decir, con media cero y varianza constante.

Para simular una trayectoria de precios, partiendo de P_t , se genera una secuencia de épsilon, esto es, ε_i para $i = 1, 2, \dots, n$, de manera que se vayan estimando los sucesivos valores futuros hasta alcanzar el precio P_T , de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} P_{t+1} &= P_t + P_t(\mu * \Delta t + \sigma * \varepsilon_1 * \sqrt{\Delta t}) \\ P_{t+2} &= P_{t+1} + P_{t+1}(\mu * \Delta t + \sigma * \varepsilon_2 * \sqrt{\Delta t}) \\ &\vdots \\ P_{t+n} &= P_T \quad (3.16) \end{aligned}$$

Cuando trabajamos con un horizonte temporal pequeño, por ejemplo, de 1 día ($\tau = \Delta t = 1$), se suele asumir que el parámetro tendencia (μ) es igual a cero. Por consiguiente, la expresión 3.16 queda de la siguiente manera:

$$\frac{\Delta P_t}{P_{t-1}} = \sigma * \varepsilon \quad (3.17)$$

Que puede reescribirse como:

$$\frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} = \sigma * \varepsilon \quad (3.18)$$

Se puede deducir que las variaciones en el precio del activo dependen de:

- Un componente aleatorio (ε), que sigue una distribución normal estándar.
- La volatilidad de las rentabilidades del activo (σ).

Se logra observar que la expresión 3.18 es muy similar a la fórmula de rendimiento de forma discreta (fórmula 2.1).

Si se transcribe la ecuación 3.18 en términos logarítmicos se obtiene la siguiente expresión:

$$\ln \left[\frac{P_t}{P_{t-1}} \right] = \ln e^{\sigma \varepsilon} \quad (3.19)$$

Aplicando las propiedades de los logaritmos, resulta lo siguiente:

$$\ln P_t - \ln P_{t-1} = \ln e^{\sigma \varepsilon} \quad (3.20)$$

Simplificando y desapareciendo los logaritmos, la expresión queda como un modelo lognormal de la siguiente manera:

$$P_t = P_{t-1} * e^{\sigma \varepsilon} \quad (3.21)$$

Para simular el precio del activo sobre el intervalo τ para un día, entonces Δt puede ser, por ejemplo, un minuto. Por consiguiente, para obtener el precio final P_T se procede de la siguiente forma:

$$P_{t+1} = P_t * e^{\sigma \varepsilon_1}$$

$$P_{t+2} = P_{t+1} * e^{\sigma \varepsilon_2} \quad (3.22)$$

⋮

$$P_{t+n} = P_T$$

O, también de la siguiente forma:

$$P_{t+1} = P_t * e^{\sigma \varepsilon_1}$$

$$P_{t+2} = P_t e^{\sigma \varepsilon_1} * e^{\sigma \varepsilon_2} = P_t * e^{\sigma(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}$$

⋮

$$P_{t+n} = P_T = P_t * e^{\sigma \sum_{i=1}^n \varepsilon_i} \quad (3.23)$$

La interpretación de la expresión 3.23, es el precio en el momento objetivo (P_t), y la suma de los valores realizados de ε en el intervalo τ , ya que el parámetro σ se asume conocido o, al menos, estimado.

El proceso de simulación consiste en utilizar un generador de números aleatorios a partir del cual obtener una serie de épsilon ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$) para, seguidamente, sustituir los valores en la ecuación 3.23. Tras dicha simulación se calcula el valor de la posición en el momento T, como resultado entre el precio final simulado P_T y el número de títulos en nuestro poder, esto es:

$$W_T = P_T * k \quad (3.24)$$

Dónde:

W_T = Valor de la posición simulado en el momento T.

k = número de títulos en nuestro poder.

De esta forma, se repite este proceso 10,000 veces, hasta obtener la distribución de valores simulados de la posición, es decir $W_{T1}, W_{T2}, \dots, W_{T10,000}$. Hecho esto, se estima la distribución de pérdidas y ganancias simuladas desde la cual se construye la cifra del VaR, simplemente restando a todos los valores simulados el valor de la cartera en el momento actual (W_t).

El lector se preguntará, ¿porqué realizar el proceso 10,000 veces?, la respuesta es que a medida que se incrementa el número de repeticiones, la estimación del VaR converge hacia el valor verdadero. Jorion (2008)⁴⁶ advierte que: *En mercados con movimientos rápidos o con valores complejos, la velocidad puede ser más importante que la precisión.*

3.1.3.2.2 Monte Carlo para n activos

En este apartado haremos extensible el modelo a posiciones formadas por más de un activo. Evidentemente, el proceso se complica en la medida que se hace necesario incorporar la estructura de correlaciones entre dichos componentes.

Para fines didácticos, supondremos un portafolio con 2 activos (X y Y).

El primer paso, consistirá en transformar la Variable normal estándar (ε) en otra equivalente, según la siguiente expresión:

$$Z = A * \varepsilon \quad (3.25)$$

Dónde:

Z = vector 2*1, de Variables normales transformadas

⁴⁶ *Íbid.*, pp. 260-263.

A = matriz 2*2 definida como:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \rho_{XY} & \sqrt{1 - \rho_{XY}^2} \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

Siendo, ρ_{XY} el coeficiente de correlación entre los 2 activos.

Dicha matriz (A) se caracteriza por cumplir la propiedad denominada *descomposición de Cholesky*, cuya transcripción matemática es:

$$A * A^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \rho_{XY} & \sqrt{1 - \rho_{XY}^2} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & \rho_{XY} \\ 0 & \sqrt{1 - \rho_{XY}^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{XY} \\ \rho_{XY} & 1 \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Esto quiere decir que la matriz A multiplicada por su transpuesta (A^T), es igual a la matriz de correlaciones.

Se puede observar que la matriz A es triangular inferior, es decir, presenta un cero en la esquina superior derecha.

En el caso de un portafolio de 3 activos, la matriz A se obtendría de la siguiente manera:

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \rho_{13} \\ \rho_{21} & 1 & \rho_{23} \\ \rho_{31} & \rho_{32} & 1 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ a_{21} & 1 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & 1 \end{bmatrix}$$

$$A^T = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ 0 & 1 & a_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Co = A * A^T \quad (3.28)$$

De la expresión anterior se deduce que:

$$\begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \rho_{13} \\ \rho_{21} & 1 & \rho_{23} \\ \rho_{31} & \rho_{32} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}^2 & (a_{11} * a_{21}) & (a_{11} * a_{31}) \\ (a_{21} * a_{11}) & (a_{21}^2 + a_{22}^2) & (a_{21}a_{31} + a_{22}a_{32}) \\ (a_{31} * a_{11}) & (a_{31}a_{21} + a_{32}a_{22}) & (a_{31}^2 * a_{32}^2 * a_{33}^2) \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

Para estimar A, será necesario establecer una comparación matricial, esto es, elemento a elemento, Esta comparación queda de la siguiente manera:

$$a_{11}^2 = 1$$

$$a_{11} = 1$$

$$\rho_{12} = \rho_{21} = a_{11} * a_{21}$$

$$a_{21} = \frac{\rho_{21}}{a_{11}} = \rho_{21}$$

$$\rho_{13} = \rho_{31} = a_{11} * a_{31}$$

$$a_{31} = \frac{\rho_{31}}{a_{11}} = \rho_{31}$$

$$1 = a_{21}^2 + a_{22}^2$$

$$a_{22} = \sqrt{1 - a_{21}^2} = \sqrt{1 - \rho_{21}^2}$$

$$\rho_{23} = \rho_{32} = (a_{21} * a_{31}) + (a_{22} * a_{32})$$

$$a_{32} = \frac{1}{a_{22}} * [\rho_{32} - (a_{21} * a_{31})] = \frac{\rho_{32} - \rho_{21} * \rho_{31}}{\sqrt{1 - \rho_{21}^2}}$$

$$1 = a_{31}^2 + a_{32}^2 + a_{33}^2$$

$$a_{33} = \sqrt{1 - a_{31}^2 - a_{32}^2} = \sqrt{1 - \rho_{31}^2 - \frac{(\rho_{32} - \rho_{21} * \rho_{31})^2}{1 - \rho_{21}^2}} \quad (3.30)$$

En general, para una matriz de correlaciones de dimensión NxN, tenemos que:

$$a_{ij} = \sqrt{1 - \sum_{k=1}^{i-1} a_{ik}^2} \quad (3.31)$$

$$a_{ij} = \left(\frac{1}{a_{ij}}\right) * \sqrt{\rho_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} a_{ik} * a_{jk}} \quad j = i + 1, i + 2, \dots + (N - i) \quad (3.32)$$

Se debe aclarar que la descomposición de Cholesky es eficiente, siempre y cuando la matriz de correlaciones sea definida positiva, es decir, que su determinante sea positivo.

Debido a ello, se deduce que, en el ejemplo de 25 activos, la matriz de correlaciones no cumpliría dicha condición siempre y cuando el coeficiente de correlación (ρ_{XY}), fuera igual a la unidad, ya que, en este caso, su determinante sería cero.

Por lo anterior, la ecuación 3.15 en términos matriciales queda de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} Z_X \\ Z_Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \rho_{XY} & \sqrt{1 - \rho_{XY}^2} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

También se puede expresar de la siguiente manera:

$$Z_X = \varepsilon_X$$

$$Z_Y = \rho_{XY} * \varepsilon_X + \sqrt{1 - \rho_{XY}^2} * \varepsilon_Y \quad (3.34)$$

A partir de la expresión 3.34 es posible generar parejas de números aleatorios transformados de manera que puedan ser sustituidos en 3.11. Así pues, para simular los precios de dichos activos, bastaría utilizar las siguientes fórmulas:

$$P_{X,t} = P_{X,t-1} * e^{\sigma_X * Z_X} \quad (3.35)$$

$$P_{Y,t} = P_{Y,t-1} * e^{\sigma_Y * Z_Y}$$

Es necesario decir que las ecuaciones anteriores son susceptibles de ser refórmuladas en función del valor que adopte el coeficiente de correlaciones entre los activos considerados.

Una vez obtenidos los precios simulados para dichos activos (3.35), se procede a calcular el valor simulado de la cartera, W_T . Se trata, de computar la media ponderada de los precios correspondientes, para cada activo individual, esto es:

$$W_T = w * P_{t,X} + (1 - w)P_{t,Y} \quad (3.36)$$

Donde:

w = es el porcentaje de inversión en el activo X

$(1-w)$ = es el porcentaje de inversión en el activo Y.

Si se repite el proceso descrito 10,000 veces y se resta a cada uno de los valores simulados de la cartera ($W_{T,1}, W_{T,2}, \dots, W_{T,10000}$), el valor de mercado en la actual (W_t), finalmente, se obtiene la distribución de pérdidas y ganancias, desde la cual se infiere el VaR.

Se puede deducir que, en la metodología de Monte Carlo, la generación de escenarios pasa por la estimación previa de volatilidades y correlaciones entre activos que componen el portafolio.

Aragonés y Blanco (2000)⁴⁷ señalan que:

“El método de Monte Carlo puede interpretarse como una combinación del método paramétrico del cálculo del VaR y la simulación Histórica. A través de este método se obtiene una aproximación del comportamiento de la rentabilidad esperada de la cartera utilizando simulaciones por ordenador que generan recorridos aleatorios del rendimiento, basados en ciertos supuestos iniciales sobre las volatilidades y correlaciones de los factores de riesgo”.

3.1.3.3 Ventajas

Según Jorion (2008)⁴⁸, *“La simulación Monte Carlo es, con diferencia, el método más poderoso para cuantificar el Valor en Riesgo. Además, tiene el potencial de considerar un amplio elenco de riesgos tales como el riesgo de precio, el riesgo de volatilidad y el riesgo de crédito.”*

Para Bolaños (2010)⁴⁹, existen algunas ventajas de esta estimación las cuales son:

- La estimación del VaR se puede escalar a diferentes horizontes de inversión.
- El método permite agregar los riesgos a través de diferentes mercados, por ejemplo, se puede combinar el riesgo del mercado de divisas con el riesgo del mercado accionario.

Para Claro, Sebastián y Cristóbal (2006)⁵⁰, el método Monte Carlo,

“Es un método de valoración global, tanto paramétrico como no paramétrico. Eliminando la necesidad de establecer aproximaciones que introducen imprecisión en los cálculos. Este método es aplicable tanto a posiciones lineales como no lineales. En el caso del modelo no paramétrico, al no estar sujeto a ninguna distribución de probabilidad subyacente, evita mayormente el riesgo de modelización y permite capturar el fenómeno de las colas gruesas, eliminando al mismo tiempo, la necesidad de trabajar con volatilidades y correlaciones.

La simulación de Monte Carlo ofrece una descripción más realista del riesgo ya que la distribución de las variaciones en los precios refleja un abanico completo de todas las realizaciones y sus posibilidades.”

⁴⁷ Aragonés, J., Blanco C., *op. cit.*

⁴⁸ Jorion, P., *op. cit.*, pp. 262-263.

⁴⁹ Bolaños, M., Emmanuel, 2010. *Diseño de Software para el cálculo del VaR*. Tesis Maestría en Ingeniería Financiera. Universidad Nacional Autónoma de México.

⁵⁰ Claro, E., Felipe, Contador, A., Sebastián y Quiroga, P. Cristóbal., 2006. *Teoría del Valor extremo: Aplicación de la teoría al índice NASDAQ*. Seminario de Título. Universidad de Chile.

3.1.3.4 Desventajas

Así como existen múltiples ventajas, también se presentan desventajas.

Para Feria (2005)⁵¹, existen 3 inconvenientes en el uso de la simulación Monte Carlo:

“En primer lugar, se trata de una metodología intensiva en esfuerzo computacional, donde a medida que aumenta el número de escenarios e instrumentos en la cartera, el tiempo de cálculo se prolonga sobremanera. Aparece, entonces, un costo de oportunidad entre el grado de precisión de los resultados y la prontitud en la obtención de los mismos para la toma de decisiones oportunas.”

“Un segundo aspecto a comentar es la complejidad del proceso habida cuenta de la carga matemática subyacente, para nada fácil de entender y comunicar a posibles usuarios del VaR.”

“En tercer lugar, en la medida que se incorporan pronósticos de volatilidades y correlaciones, se incurre en un riesgo de estimación debido a que dichos parámetros dependen directamente de la muestra histórica utilizada, además de no ser constantes en el tiempo, lo que repercute en su robustez.”

Desde un punto de vista metodológico, Feria (2005)⁵² menciona: *“El proceso de generación de números pseudo-aleatorios, es decir, números generados por un algoritmo, utilizando una regla determinista”*. Además, se debe asegurar que la matriz de correlaciones debe ser definida positiva, para poder realizar la descomposición de Cholesky.

Para concluir, Jorion (2008)⁵³, comenta sobre el “riesgo de modelo” como otra desventaja, esto es el riesgo en que se incurre en caso de que el proceso estocástico elegido no sea el apropiado.

3.2 Método no paramétrico

Esta metodología requiere utilizar una serie histórica de precios, para construir una serie de tiempo de precios y/o rendimientos simulados o hipotéticos con el supuesto de que se ha conservado el portafolio durante el periodo de la serie histórica. De Lara (2018)⁵⁴, comenta que para aplicar esta metodología se debe recabar una serie de precios diarios históricos de 200 a 500 datos. Después de obtener esto, se genera un histograma de frecuencias de los rendimientos simulados, donde se calcula el cuantil correspondiente a un nivel de confianza de 99%.

⁵¹ Feria Domínguez, J., 2005. *El riesgo de mercado: su medición y control*. Madrid. Ed. Delta.

⁵² *Ídem*.

⁵³ Jorion, P., *op. cit.*, pp. 118-123.

⁵⁴ De Lara A, *op. cit.*, pp. 93.

Existen 3 tipos de simulación histórica: crecimiento absoluto, crecimiento logarítmico y crecimiento relativo. En los siguientes subtemas se explican estos tipos.

3.2.1 Simulación con crecimientos absolutos

De Lara (2018)⁵⁵ enumera los siguientes pasos para la elaboración de esta metodología:

- a) Obtener una serie de precios (250 a 500 datos)
- b) Calcular las pérdidas/ganancias diarias de dicha serie mediante la siguiente expresión:

$$\Delta P_t = P_t - P_{t-1} \quad (3.37)$$

- c) Determinar una serie de tiempo de precios simulados sumando a la ΔP al precio más reciente o actual, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P_i^* = P_0 + \Delta P_i \quad (3.38)$$

P_0 es fijo para toda la serie de tiempo

- d) Determinar una serie de tiempo de rendimientos simulados, a partir de los precios hipotéticos, como sigue:

$$R_i^* = \frac{P_i^* - P_0}{P_0} \quad (2.1)$$

- e) Calcular el Valor en Riesgo tomando el percentil que está de acuerdo con el nivel de significancia deseado (0.01 para un nivel de confianza del 99%), del histograma de rendimientos simulados.
- f) El Valor en Riesgo está dado como rendimiento en porcentaje, por lo que será necesario multiplicarlo por el valor del portafolio vigente dado en pesos o dólares.

3.2.2 Simulación con crecimientos relativos

Los pasos por seguir son:

- a) Obtener una serie de precios (250 a 500 datos)
- b) Determinar los rendimientos de los precios de manera discreta, esto es:

$$Rend = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} \quad (2.1)$$

- c) Realizar una serie de tiempo simulada de crecimiento de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P^* = P_0(1 + Rend) \quad (3.39)$$

- d) Obtener una serie de tiempo de pérdida/ganancia simulada: $P_0 - P^*$.

⁵⁵ *Íbid.*, pp. 100-101.

- e) Calcular el Valor en Riesgo tomando el percentil que está de acuerdo con el nivel de significancia deseado (0.01 para un nivel de confianza del 99%), del histograma de rendimientos simulados.

3.2.3 Simulación con crecimientos logarítmicos

El procedimiento es semejante al de crecimiento relativo, pero en lugar de rendimientos discretos, se calcula con rendimientos continuos, esto es:

$$Rend = Ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \quad (2.2)$$

3.2.4 Ventajas de la Simulación histórica

1. Es fácil de entender.
2. Es realista, pues se basa en una serie de tiempo de datos reales.
3. No se apoya en supuestos de correlaciones y volatilidades.
4. No requiere mapeo de posiciones.
5. Es aplicable a instrumentos no lineales (opciones).
6. No supone distribución alguna y es aplicable a distribuciones con colas pesadas.

3.5 Métodos Alternativos

El Valor en Riesgo (VaR) posee muchas ventajas, desde su fácil interpretación hasta su fácil estimación lo cual popularizó esta métrica desde gestores de fondos hasta organismos internacionales, como el Banco Internacional de Pagos (BIS).

Dicho lo anterior, se podría pensar que el VaR es la mejor de las medidas de riesgo; sin embargo, considerando un conjunto de medidas de riesgo, puede ser considerada la menos mala. Pero, cuando se afirma que el VaR es mejor que las anteriores medidas de riesgo, no se está afirmando que sea la mejor medida de riesgo posible, y ni siquiera se está afirmando que sea buena; este razonamiento hizo que, en 1997, Artzner, Delbaen, Eber y Heath⁵⁶ argumentaran y demostraran una serie de críticas en contra del VaR desde el punto de vista matemático.

Ellos definieron un conjunto de axiomas que debe cumplir una medida de riesgo en un sentido general. Una medida que satisface dichos axiomas se define como una Medida Coherente de Riesgo.

⁵⁶ Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J. M., & Heath, D. (1997). Thinking coherently. RISK, 10. November, 68, 71.

3.5.1 Coherencia de Medidas de Riesgo

Sea (Ω, A, P) un espacio de probabilidad, tal que Ω es el espacio de resultados o estados de la naturaleza, A es la σ -álgebra de eventos y P es la medida de probabilidad. Para una Variable aleatoria X de valor real y medible sobre este espacio de probabilidad, es decir, un mapeo $X: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$, la distribución de probabilidad de X está dada por: $F_X(x) = P(X \leq x)$.

Se supone que la Variable aleatoria X representa una pérdida financiera tal que para $\omega \in \Omega$ el número real $X(\omega)$ es la realización de una pérdida o un beneficio con $X(\omega) \geq 0$ para una pérdida y $X(\omega) < 0$ para un beneficio. Un conjunto de pérdidas financieras se denota por χ .

Una medida de riesgo es una función del conjunto de pérdidas en el conjunto de números reales no negativos extendidos, descrita mediante el mapeo $\mathbb{R}: \chi \rightarrow [0, \infty]$.

Como señalan Artzner, Delbaen, Eber y Heath (1999)⁵⁷ y Acerbi y Tasche (2002)⁵⁸ Una medida coherente de riesgo es una medida de riesgo que satisface las siguientes propiedades:

1.- Sub-aditividad: $X, Y, X + Y \in V \Rightarrow p(X + Y) \leq p(X) + p(Y)$

Esto significa que a mayor rentabilidad debe corresponder mayor riesgo.

2.- Positiva Homogénea: $X \in V, h > 0, hX \in V \Rightarrow p(hX) = h p(X)$

Esto significa que, si se aumenta la posición en un portafolio, o en alguno de sus activos componentes, el riesgo debe incrementarse proporcionalmente. El riesgo escala con el tamaño de la posición.

3.- Invariante por traslación: $X \in V, a \in \mathbb{R} \Rightarrow p(X + a) = p(X) - a$

Esto significa que, si se invierte una cantidad adicional en el portafolio, y se invierte prudentemente (generalmente la introducción de una tasa libre de riesgo), entonces su riesgo se debe reducir en esa cantidad proporcional.

4.- Monótona: $X \in V, X \geq 0 \Rightarrow p(X) \leq 0$

Esto significa que a mayor rentabilidad debe corresponder mayor riesgo.

⁵⁷ Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J. M., & Heath, D. (1999). Coherent measures of risk. *Mathematical finance*, 9(3), 203-228.

⁵⁸ Acerbi, C., & Tasche, D. (2002). Expected shortfall: a natural coherent alternative to value at risk. *Economic notes*, 31(2), 379-388.

De acuerdo a Romero (2005)⁵⁹ existen diferentes medidas de riesgo que satisfacen las propiedades anteriormente mencionadas, algunas de ellas son:

- *Expected regret* (ER)
- VaR Condicional (CVaR) o *Expected shortfall* (ES)
- *Tail conditional expectation* (TCE) y *tail mean* (TM)
- *Worst condicional expectation* (WCE)

En el presente trabajo solo se estudiará y se aplicará el *Expected shortfall*; las demás medidas de riesgo y el debate en torno a ellas rebasan por mucho el propósito de este trabajo.

3.5.2 ¿El VAR es una Medida Coherente de Riesgo?

Cuando, a la luz de la teoría de la medida, se analizan las propiedades de una buena medida de riesgo financiero (Monotonicidad, Positiva Homogénea, Subaditividad e Invarianza por Traslación) sobre el VAR, se han encontrado algunas dificultades, no sólo desde la perspectiva teórica, sino además desde el punto de vista práctico y operativo de la administración de riesgo en el ámbito financiero. Una propiedad esencial exigida para una buena medida de riesgo es la diversificación, que consiste en que el riesgo debe disminuir (o por lo menos no aumentar) cuando se unen riesgos individuales. Esto se formaliza mediante el criterio de subaditividad.

Para entender esta propiedad con mayor detalle, supongamos que X y Y son dos portafolios cualesquiera, y asumimos que $p(X)$ es una medida de riesgo. Esta medida de riesgo es subaditiva si:

$$p(X + Y) \leq p(X) + p(Y) \quad (3.40)$$

Esto quiere decir que el riesgo global del portafolio no debe ser mayor que la suma de los riesgos de las posiciones que lo componen. La subaditividad refleja la expectativa de que los riesgos usualmente se diversifican cuando se juntan. La igualdad sólo se cumpliría cuando todos los factores de riesgo subyacentes se mueven conjuntamente, caso en el cual el riesgo global del portafolio sería igual a la suma de los riesgos que lo conforman.

En otras palabras, la subaditividad significa que la agregación de riesgos no aumenta el riesgo total. Por lo tanto, es un requerimiento esencial para que cualquier medida de riesgo financiero sea considerada “buena”.

⁵⁹ Romero Meza, R. (2005). Medidas de riesgo financiero.

Cuando esta propiedad no se cumple Arbeláez y Ceballos (2005)⁶⁰, comenta que:

- *“La no subaditividad podría inducir a los agentes que operan en un intercambio organizado a separar sus inversiones para reducir sus riesgos, y no tener en cuenta los comovimientos de las rentabilidades, lo que podría generar que ninguna de ellas esté cubierta, y entonces generar un riesgo adicional no cubierto.*
- *Si los reguladores usan medidas de riesgo no subaditivas para los requerimientos de capital, una firma financiera podría escindirse a sí misma para reducir sus requerimientos de capital regulatorio. Esto se explicaría debido a que la suma de requerimientos de capital de unidades más pequeñas sería menor que el requerimiento de capital para la firma en su conjunto.*
- *Si los riesgos son subaditivos la agregación de riesgos produce una sobrestimación del riesgo combinado. Esto significa que la suma de riesgos puede tomarse como una estimación conservadora de los riesgos combinados. Pero si los riesgos no son subaditivos, su agregación genera una subestimación de los riesgos combinados, lo que hace que la suma de los riesgos sea una medida no confiable.”*

Las afirmaciones anteriores debilitan el VaR como medida de riesgo, ya que esta medida no es subaditiva. El hecho de que el VaR no sea subaditivo es un problema fundamental, debido a que eso significa que no puede ser asumido como una medida adecuada para el riesgo en todos los casos.

Adicional a esto, Arbeláez y Ceballos (2005)⁶¹ exponen otras debilidades del VAR, las cuales se enlistan a continuación:

- *“Para distribuciones discretas, el VAR es no una función suave, ni convexa y además es multiextrema, lo que dificulta su control y optimización mediante métodos estándares para distribuciones no normales. No obstante, los significativos esfuerzos de investigación, aún no es posible disponer de algoritmos eficientes para la optimización del VAR para dimensiones razonables en cuanto a número de instrumentos y escenarios.*
- *No justifica la diversificación, lo cual se explica porque la no subaditividad implica que la diversificación puede incrementar el riesgo.*
- *Sólo es subaditiva en el caso de distribuciones elípticas como ocurre con las distribuciones normal y t de Student.*
- *Los diversos métodos generan resultados muy distantes, que pueden producir confusión en la toma de decisiones.*
- *No es una medida coherente de riesgo, desde la perspectiva aplicable de la teoría de la medida.*

⁶⁰ Arbeláez, L. C. F., & Ceballos, L. E. F. (2005). El Valor en Riesgo condicional CVaR como medida coherente de riesgo. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 4(6), 43-54.

⁶¹ *Ídem.*

- *Determina probabilidad de eventos extremos, pero ignora la posible severidad de ellos. No proporciona ninguna información sobre el monto de las pérdidas que exceden el VAR. Esto puede proporcionar resultados en conflicto para diferentes niveles de confianza. Por ejemplo, para un nivel de confianza del 95% las acciones X pueden ser contribuyentes dominantes al riesgo, y al pasar a un nivel de confianza del 98%, ya pueden ser las acciones Y las que sean contribuyentes dominantes al riesgo del portafolio.”*

3.5.3 Expected Shortfall (ES)

Críticas como las de Artzner, Delbaen, Eber y Heath (1999)⁶² junto con Arbeláez y Ceballos (2005)⁶³ y Acerbi y Tasche (2002)⁶⁴ han llevado a reformulaciones del VaR y a la búsqueda de modelos sustitutivos para la cuantificación del riesgo de mercado.

Pero sería a partir de la crisis financiera del 2008, la cual se caracterizó por un deterioro repentino y severo de la liquidez en una serie de mercados de activos. Como resultado, los bancos a menudo no podían salir o cubrir rápidamente ciertas posiciones de riesgo ilíquido sin afectar materialmente a los precios de mercado. Esto violó una suposición clave que estaba implícita en el tratamiento de 10 días de VaR del riesgo de mercado.

Como bien señala Christoffersen (2011)⁶⁵, el VaR a 10 días se comportó más lento a medida que el mercado caía a mayor velocidad, lo que ocasionó que hubiera grandes oscilaciones de las primas de liquidez, definidas como la compensación adicional requerida por los inversores para mantener instrumentos ilíquidos; esto dio lugar a pérdidas sustanciales de los instrumentos de valor razonable a medida que las condiciones de liquidez se deterioraban.

Este evento ocasionó que se abriera una ventana de oportunidad para incrementar la práctica de la administración del riesgo, con lo que el ES se presentó como medidas complementarias en los casos en que existen eventos de cola, los cuales ponen en riesgo la viabilidad de las inversiones o las empresas.

El *Expected Shortfall* (ES), también llamado VaR Condicional (CVaR) o la pérdida esperada de la cola de la distribución, es una medida complementaria del VaR, que satisface todas las propiedades exigidas para ser una medida coherente de riesgo, desde la teoría de la medida. Además, desde el punto de vista práctico, el ES supera los inconvenientes del VaR, ya que no sólo satisface la propiedad de subaditividad, sino que también es convexa y uniextremo, lo cual facilita la implementación de algoritmos de optimización y control.

⁶² Artzner, Delbaen, Eber, & Heath, *op. cit.*

⁶³ Arbeláez, L. & Ceballos, *op. cit.*, pp. 47-52.

⁶⁴ Acerbi, C., & Tasche, D., *op. cit.*, pp. 380-382.

⁶⁵ Christoffersen, P., *op. cit.*, pp. 28-30.

De manera formal se puede definir el ES como:

$$ES_{(\alpha)} = |E[X|X \leq -VaR_{(\alpha)}(X)]| \quad (3.41)$$

El ES cuantifica las pérdidas que exceden el VaR y actúa como una cota superior para el VaR. Por lo tanto, los portafolios con un bajo ES también tienen bajo VaR.

El ES así definido es una representación convenientemente simple del riesgo, aplicable a distribuciones de pérdida no simétricas, que tiene en cuenta los riesgos más allá del VaR y es convexa. Además, es una medida coherente de riesgo, ya que satisface la invarianza traslacional, la homogeneidad positiva, la monotonicidad, y lo que se considera mucho más importante, satisface la subaditividad.

Otros aspectos positivos del *Expected Shortfall* de acuerdo con Arbeláez y Ceballos (2005)⁶⁶ y Acerbi y Tasche (2002)⁶⁷, son los siguientes:

- El “ES” es continuo con respecto al nivel de confianza α , comparada con el VaR.
- Aún para distribuciones no normales, el “ES” es fácil de controlar y optimizar.
- Puede ser minimizado usando algoritmos de programación lineal, lo cual no ocurre con el VaR, permitiendo el manejo de portafolios con un gran número de instrumentos y escenarios.
- El “ES”, por ser una medida convexa, hace posible construir algoritmos eficientes para controlarlo.
- Realmente proporciona información sobre la magnitud de las pérdidas cuando ellas exceden el VaR.

3.5.3 Teoría de Valores Extremos (EVT)

La teoría de valores extremos es una rama de la estadística la cual analiza las distribuciones de probabilidad con desviaciones extremas con respecto a la media. Las medidas de riesgo bajo la metodología EVT, tienen un mejor desempeño en función de un *backtest*, que las medidas comúnmente aplicadas, las cuales asumen retornos distribuidos de manera normal con una confiabilidad del 99%.

Como nos menciona Luna (2006)⁶⁸, para implementar EVT se requiere la obtención de una serie de valores extremos a partir de los datos observados. Existen 2 metodologías para definir un valor extremo, el método de máximo por bloques y el método de picos sobre un umbral.

⁶⁶ Arbeláez, L. & Ceballos, op. cit., pp. 55.

⁶⁷ Acerbi, C., & Tasche, D., op. cit., pp. 382-384.

⁶⁸ Luna Arias, A. (2006), Alternativas estadísticas para el cálculo del Valor en Riesgo VaR.

En la metodología de máximo por bloques se identifican los eventos que tengan el valor más alto durante un periodo específico. Este período es calculado a través de la división de la muestra por “j” bloques contiguos disjuntos de tamaño “n”.

La serie de valores extremos se obtiene a partir del valor máximo de la serie dentro de cada bloque. Al identificar los máximos de la serie, es posible reducir la dependencia entre los eventos extremos y con ello garantizar que se están tomando observaciones a lo largo de toda la muestra. Esta metodología desconoce la información asociada a otras observaciones extremas que no correspondan al máximo de su respectivo bloque.

Por su parte el método de picos sobre el umbral, identifica los valores extremos de la serie como aquellos que exceden un umbral, estos valores son conocidos como excesos de rendimiento.

Un problema que presentan ambas metodologías está asociada a la definición de la longitud del bloque y a la definición del umbral; dichas estimaciones están fuera del alcance de este trabajo.

Podemos agregar que a partir de la teoría de valor extremo es posible introducir las medidas de riesgo que se concentran en la frecuencia y la magnitud de la realización de eventos extremos; estas medidas son: nivel de rendimiento (*Return level*) y periodo de rendimiento (*Return period*).

EVT es un acercamiento muy general para la estimación del VaR y ES, cuya fuerza principal es el empleo de la distribución GEV para la estimar la cola de las pérdidas.

De acuerdo con Luna (2006)⁶⁹ se pueden encontrar algunos problemas en el uso de estas metodologías:

- El supuesto de observaciones i.i.d, las cuales no siempre se tienen.
- A través de estudios Monte Carlo, se ha revelado que el desempeño de los estimadores EVT se deteriora cuando nos movemos fuera de la cola.
- La estimación del umbral presenta problemas; si el umbral es muy alto, el estimador posee una alta varianza; mientras que, si el umbral es demasiado bajo, produce un estimador sesgado, porque la aproximación es muy pobre.
- Además, Luna Arias (2006)⁷⁰ señala que no existe un método estadístico para señalar el umbral, por lo que se recurre a los elementos gráficos.

⁶⁹ Ídem.

⁷⁰ Ídem.

Capítulo 4 Riesgos de mercado de 2018 a 2020

Introducción

En este capítulo se presentan de manera resumida algunos hechos políticos, económicos y financieros que afectaron al mercado de valores en México del año 2018 a finales de abril de 2020. En el primer apartado se aborda el proceso de salida del Reino Unido de la Unión Europea conocido como Brexit, proceso político social que tuvo repercusiones económicas muy importantes y que fue un factor de riesgo de mercado desde 2016 a la fecha. En el segundo apartado se da una breve introducción del aumento de los movimientos político social extremos (extrema izquierda y extrema derecha) en diferentes partes del mundo durante 2018 a finales de abril de 2020. Presentado lo anterior se enfatiza este cambio de régimen político en México y como este afecto a la bolsa de valores durante el periodo seleccionado.

Discutido lo anterior se da una breve introducción en el apartado 4.4 a la pandemia de coronavirus y su impacto en la bolsa de valores de México durante los primeros meses de 2020. Por su parte en el apartado 4.5 se aborda de manera superficial la guerra comercial que tuvo USA y China. En el apartado 4.6 se toca el tema de la política monetaria en México y USA, este apartado se subdivide en la política monetaria que se llevaba pre-pandemia y la política monetaria durante la pandemia, el discurso de los bancos centrales cambio bastante, así como su accionar. Para el apartado 4.7, comienza con breve introducción de que es el mercado de reportos, los principales actores y el problema que surgió en este mercado a finales de 2019.

Después de lo anterior se aborda en el apartado 4.8 el mercado de petróleo y algunas tensiones geopolíticas que se han dado en los últimos 2 años, los cuales pusieron mucha incertidumbre en los mercados financieros. Finalmente, en el apartado 4.9 se habla de las elecciones de USA para 2020, los cuales generaran alta volatilidad en los mercados financieros del mundo.

4.1 Brexit

Se le conoce como *Brexit*⁷¹ a la salida del Reino Unido de la Unión Europea (UE), gracias al referéndum realizado el 23 de junio de 2016, en el que el 52% de los votantes apoyó abandonar la Unión Europea. Fue entonces que el gobierno británico invocó el artículo 50 del Tratado de la Unión Europea, iniciando un proceso de dos años que debía concluir con la salida del Reino Unido el 29 de marzo de 2019. Ese plazo fue prolongado en primer término hasta el 12 de abril de 2019 y posteriormente se volvió a prolongar hasta el 31 de octubre de 2019, para después sufrir otra prórroga por tercera y última vez hasta el 31 de enero de 2020.

Llegada esta última fecha, habrá un periodo transitorio hasta el 31 de diciembre de 2020 por el cual el Reino Unido se mantendrá en el mercado europeo y los ciudadanos y las empresas no notarán diferencias. Reino Unido y la UE deberán negociar una nueva relación comercial los siguientes meses.

El amplio consenso entre los economistas, menciona que el *Brexit* tiene la posibilidad de reducir el ingreso per cápita real de los habitantes del Reino Unido a mediano y largo plazo, y que el referéndum sobre el *Brexit* en sí mismo dañó su economía. Adicional a esto, se ha comentado que el *Brexit* reduciría la inmigración desde países europeos al Reino Unido, debido a que este proceso es también una expresión de xenofobia que se vive en el mundo.

En el aspecto económico, se debe mencionar que gran parte de las exportaciones del Reino Unido van a la UE y poco más de la mitad de sus importaciones provienen de las otras 27 naciones que componen dicho bloque, así que el impacto económico es irremediable y los británicos deberían planear muy bien las estrategias para no caer en una crisis a nivel económico. Además, analistas indican que en un periodo de siete años el *Brexit* restringiría las relaciones comerciales y financieras entre ambas regiones, y en un menor tiempo, la libra esterlina caerá, al igual que las bolsas y el precio del petróleo. Lo anterior se comenzó a observar con el rendimiento de los bonos británicos cayendo hasta mínimos de 1703, mientras que la libra se hundió a niveles de 1985. En cuanto a la actividad, se espera una contracción del PIB de entre 3.6% y 6% en los dos próximos años. De esta manera, se verán lastrados el consumo y la inversión privada, mientras que el desempleo subiría entre medio millón y un millón de personas.

Otro problema que se avivó fue la integridad territorial británica, dado el triunfo en Escocia e Irlanda del Norte por la permanencia en la Unión Europea. En Escocia un par de años antes se celebró un referéndum de autodeterminación en el que se aprobó la permanencia en el Reino Unido por miedo a que una eventual independencia supusiese la salida de la Unión, mientras que en Irlanda del Norte ha vuelto a abrirse el debate acerca de la unión con el territorio republicano con el fin de permanecer en la Unión Europea, unión que después del referéndum ganó muchos adeptos, aunque no hay planes de plantear en una consulta popular la reunificación de toda la isla.

⁷¹ Véase <https://www.businessinsider.com/brexit-timeline-when-will-britain-leave-the-eu-2018-3?r=MX&IR=T> Fecha de consulta 20 de junio de 2020, hora: 11:32.41 am.

4.2 Aumento de movimientos de ideología extrema (extrema izquierda y derecha)

El Brexit, la elección de Donald Trump, las interminables guerras en Oriente Medio y la crisis en Ucrania, unidos al profundo malestar económico y social provocado por la crisis financiera de 2008, están provocando un cambio no sólo en el ámbito económico-financiero, sino también a nivel político y social, donde la sociedad se está abriendo al debate de si la globalización es tan buena como dicen los expertos, quizá hubo globalización económica y financiera y, hasta cierto punto, tecnológica, pero no se globalizaron ni las instituciones ni las ideas. Cada vez parece más evidente que la versión occidental de la globalización ha alcanzado sus límites. Esto lo podemos corroborar por el aumento en la identificación de la población con ideología extrema (nacionalismo extremo, hasta liberalismo extremo); a lo largo de los últimos años hemos visto el aumento de discursos nacionalistas, lo que evidentemente afectaría a la economía mundial debido a que las cadenas de valor y la división internacional del trabajo han penetrado enormemente; algunos ejemplos de esta división ideológica son:

- Marine Le Pen vs. Emmanuel Macron (Francia)
- Alberto Fernández vs. Mauricio Macri (Argentina)
- Theresa May vs. Boris Jonson (Reino Unido)
- Donald Trump (USA)
- Jair Bolsonaro (Brasil)
- Cambio de gobierno en Italia, España y Países Bajos (destaca que en las elecciones realizadas se encontraron candidatos de ideología extrema)
- Andrés Manuel López Obrador (México)

Estos son algunos ejemplos donde se aprecian ideologías extremas (ya sea de izquierda o de derecha).

4.3 México y el cambio de régimen político

En el caso de México, además de la renegociación del TLCAN en el 2018 y las elecciones presidencial y de gubernaturas estatales (donde Andrés Manuel López Obrador - AMLO, con una aprobación del 53%, se convirtió en el primer presidente de México de un “partido de izquierda” y junto con su partido MORENA, arrasaron en las elecciones), la ideología de los nuevos dirigentes y las declaraciones del presidente electo, generaron una fuerte incertidumbre en diversos sectores, esto detonado por la cancelación (posterior a una consulta ciudadana) del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad México (NAICDMX). Este proyecto consistía en una combinación de inversión pública-privada (se emitieron FIBRAS para su construcción), en donde el resultado después de la consulta, fue la cancelación del mismo, lo que enfatizó más el nerviosismo de los inversionistas locales e internacionales, así como la tendencia bajista de la bolsa mexicana durante 2018 y 2019.

La ilustración 4.1 permite observar el *bull-market* del IPC desde mediados de 2009 hasta principios de 2018, en donde también se puede notar como el IPC a partir de los primeros meses de 2018 empezó a construir una tendencia a la baja (debido a la incertidumbre por las elecciones), y como después de julio cayó, hasta fin de año. Destaca la fecha a partir de la cual se da a conocer la cancelación del Aeropuerto (28 octubre de 2018) y la caída de la bolsa, efecto que marcaría el sexenio de AMLO, debido a que, a partir de este suceso, la inversión privada (local e internacional) perdió confianza en él y su proyecto de nación.

Otra medida a tomar en cuenta, es la que se muestra en la ilustración 4.2, donde se sigue la evolución del ETF(*Exchange Traded Fund* o canasta de valores) de los mercados emergentes VWO, esto nos puede ayudar a ver la confianza de los inversionistas en los países emergentes desde 2014 al primer trimestre de 2020; destaca la tendencia alcista de VWO de 2016 a 2018 que contrasta con la tendencia bajista de México a lo largo de dicho periodo; podemos observar además el cambio de tendencia de VWO a partir de 2018 debido a los resultados macroeconómicos de USA y problemas económicos de algunos países.

Otro aspecto para destacar, es la disminución del spread entre el ETF de los mercados emergentes (VWO) y el ETF que replica el comportamiento del mercado mexicano (EWW, basado en el índice MSCI México), en los que de 2014 a finales de 2017 el diferencial es amplio a favor de México, pero en donde se detona un parteaguas en dicho diferencial es a partir de 2017.

ILUSTRACIÓN 4.1 PERFORMANCE DEL ETF DE MÉXICO (EEM) DE 2014.01- 2020.04



Fuente: Generación propia en Tradingview

ILUSTRACIÓN 4.2 PERFORMANCE MÉXICO VS MERCADOS EMERGENTES 2012.01-2020.04



Gráfica en porcentajes de cambio diario. Fuente: Generación propia en Tradingview

4.4 Coronavirus

El COVID-19, también conocida como coronavirus, es una enfermedad infecciosa causada por el virus SARS-CoV-2. Se detectó por primera vez en la ciudad china de Wuhan (provincia de Hubei) en diciembre de 2019. En tres meses se propagó a prácticamente todos los países del mundo, por lo que la Organización Mundial de la Salud la declaró pandemia en marzo de 2020.

Durante los primeros meses, cuando la epidemia se limitaba casi exclusivamente a China, hubo informes generalizados de escasez de suministro de productos farmacéuticos, electrónicos y otros productos manufacturados debido a la paralización de numerosas fábricas en China.

Esta parálisis de las fábricas en China ocasionaría una desaceleración económica del gigante asiático, así como una disminución del comercio a nivel global debido a que China es el país más importante en lo que se refiere a comercio. Una aproximación a este shock podría ser observando el gráfico del *Baltic Dry Index*⁷²(ilustración 4.3), el cual, como se puede observar, alcanzó un máximo histórico en septiembre de 2019, pero a partir de ahí

⁷² El Baltic Dry Index (BDI) es un índice que mide las 20 principales rutas de carga de flete marítimo a granel seca del mundo, está gestionado por el Baltic Exchange de Londres. Este índice se calcula diariamente (a 13:00 horas de Londres) con la media del precio del transporte por mar de las principales materias primas sólidas y a granel, como carbón, hierro, granos, azúcar, aluminio,... Reflejando la cantidad de contratos de envío de mercancías que se cierran por las principales rutas marítimas mundiales.

empezó a caer de una manera vertiginosa hasta tocar cifras de 2016, si bien esta caída empezó antes de la detección del COVID-19, se puede mencionar que aumentó su velocidad de caída debido al brote del virus. Este índice indica que el comercio se paralizó debido a que los contratos de transporte marítimo caen en picada y con ello el transporte de mercancías.

La caída de la demanda de materias primas por el paro de actividad en China, ha llevado a fuertes caídas en el precio de los *commodities*, en particular del petróleo, lo cual perjudica a los países y empresas productores. Esta pandemia ha generado un escenario económico muy particular donde la oferta y la demanda agregada tengan una contracción importante, haciendo que el mundo entre en recesión tal y como lo mencionó Kristalina Georgieva, directora del Fondo Monetario Internacional (FMI), el 27 de marzo de 2020.

Para entender la gravedad de esto, es necesario mencionar que el virus se transmite típicamente de una persona a otra por vía aérea, a través de las pequeñas gotas que se emiten al hablar, estornudar o toser. Se difunde principalmente cuando las personas están en contacto cercano, pero también se puede difundir al tocar una superficie contaminada y luego la propia cara. El periodo de incubación suele ser de cinco días, pero puede variar de dos a catorce días; dicho lo anterior los gobiernos y la OMS decidieron poner en cuarentena algunas comunidades, generando que la economía se detuviera y el stock de mercancías disminuyera.

Desglosando un poco más el shock particular que se ha tenido, y empezando por el lado de la oferta agregada tenemos que muchas empresas a nivel global disminuyeron su producción derivada de las cuarentenas tomadas por la población; en segundo lugar, las expectativas empresariales estarían a la baja, debido al sombrío escenario que se esperaría en los siguientes meses (con ello, tratarán de minimizar costos a través de la disminución de su personal), sumado a una disminución en la inversión por parte del sector privado. Por el lado de la demanda, se observa una disminución del consumo por parte de las empresas y de las familias (debido a la cuarentena), un ingreso disponible menor derivado del aumento del desempleo, expectativas de un aumento en la inflación, entre otras .

Por si fuera poco, los servicios de salud de los diversos países son vulnerables debido al número creciente de contagios generando escasez de camas en los hospitales, equipos médicos y medicamentos.

La expansión del virus se convirtió en el “*Black Swan* (Cisne negro)⁷³” de 2020 y detonó el colapso del mercado de valores en 2020, y generó una de las caídas más rápidas de la historia (-35% en el S&P 500 en tan sólo 30 días), durante los meses de febrero y marzo, esto se puede constatar con la ilustración 4.4. Si bien el índice no mostró una caída tan

⁷³La teoría del cisne negro es una metáfora que, describe aquellos sucesos que ocurren por sorpresa, que ningún analista había previsto ni tenido en cuenta porque, a priori, eran improbables y que, para bien o, generalmente, para mal, terminan teniendo un gran impacto y repercusiones trascendentales.

abrupta como en la Gran Depresión en 1929, destaca la velocidad de la baja; esto permite tener una idea del crash bursátil vivido.

Los mercados bursátiles mundiales empezaron a caer fuertemente el 24 de febrero de 2020 debido al aumento significativo en el número de casos de COVID-19 fuera de China.

Para el 28 de febrero de 2020, los mercados bursátiles de todo el mundo acumulaban los mayores descensos de una semana desde la crisis financiera de 2008. Las fuertes caídas continuaron durante las semanas siguientes, con fuertes bajas el 9 y el 12 de marzo. A medida que se propagaba la pandemia, se cancelaron o pospusieron las conferencias y eventos mundiales en finanzas, tecnología, moda, deportes, entre otros⁷⁴. Esto se puede constatar en la ilustración 4.5, en la que se ve claramente como empieza a aumentar la volatilidad en el índice, llegando a tener rendimientos diarios que oscilaban entre más y menos 5%.

Finalmente, el 26 de marzo se presentó el dato de las solicitudes de subsidio por desempleo en USA, cifra importante debido a que da una aproximación al mercado laboral y un indicio del dinamismo próximo del PIB. El dato de solicitudes fue abrumador, con 3, 283,000 solicitudes en una sola semana⁷⁵, llegando a un máximo histórico y mostrando el tamaño de crisis que se venía venir en USA. La ilustración 4.6 muestra las peticiones de desempleo en USA desde diciembre de 1969, destacando que de acuerdo al NBER (*National Bureau of Economic Research* de USA), durante las crisis económicas aumentan estas solicitudes (como se puede observar en las áreas azules) y se observa el monstruoso dato de 2020 lo que causó una alarma en el gobierno de USA.

⁷⁴ Al momento de escribir este trabajo, se desconoce de manera precisa el impacto que tendrá en la economía mundial esta pandemia, se habla de una crisis mayor a la de 1929.

⁷⁵ Estas cifras son sólo de personas que han solicitado beneficios por desempleo; es muy posible que el número de empleos perdidos sea mayor, por:

- Personas que no pueden recibirlos
- Gente que no sabe que puede pedirlos
- Saturación de webs y oficinas de desempleo

ILUSTRACIÓN 4.3 BALTRIC DRY INDEX 2015.01-2020.03



Fuente: Trading Economics, Cifras en puntos base.

ILUSTRACIÓN 4.4 VENTAS MASIVAS DEL S&P 500 COMPARADAS CON LA ACTUALIDAD



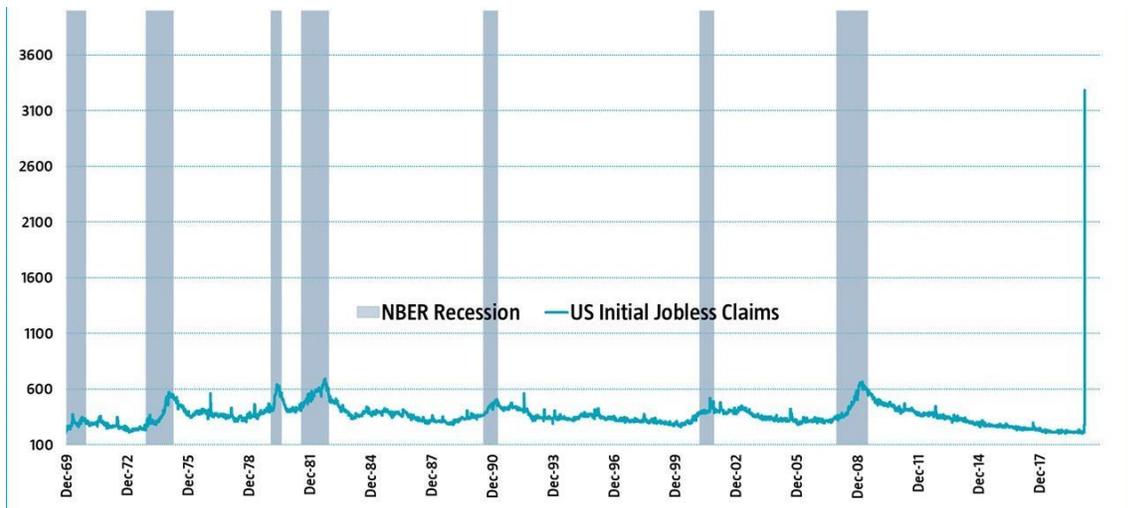
Fuente: esBolsa, fechas hasta finales de marzo 2020.

ILUSTRACIÓN 4.5 RENDIMIENTOS DEL S&P 500 DE 2020.01-2020.03



Fuente: Bloomberg

ILUSTRACIÓN 4.6 SOLICITUDES DE SUBSIDIO POR DESEMPLEO EN USA A TRAVÉS DE LAS RECESIONES



Fuente: Bloomberg

4.5 Guerra Comercial USA-China

En segundo lugar, se observa que la guerra comercial desatada por el presidente Trump con la idea de fortalecer el mercado interno, generó aranceles a múltiples países entre los que destaca México, Canadá y China, ante esta acción el gobierno Chino también impuso aranceles a USA (en 128 productos estadounidenses, incluyendo chatarra de aluminio, aviones, automóviles, productos derivados del cerdo y la soya (que tiene un arancel del 25 %), así como a frutas, frutos secos y tuberías de acero (15 %)), la ilustración 4 muestra que para China el sector más afectado fueron la agricultura y la energía en cambio para USA el sector más afectado fue productos industriales, todo esto de acuerdo a la ilustración 4.7.

Recordemos que China es el principal socio comercial de USA, la ilustración 4.8 nos permite ver el enorme déficit comercial que tiene USA con China. De acuerdo al Instituto Petersen de Economía Internacional, más del 90% de los productos que se verán perjudicados por los aranceles estadounidenses son productos intermedios o bienes de capital: es decir, son productos que se necesitan para hacer otro tipo de productos. Esto impactará en otros bienes, no necesariamente comercializados exclusivamente en USA.

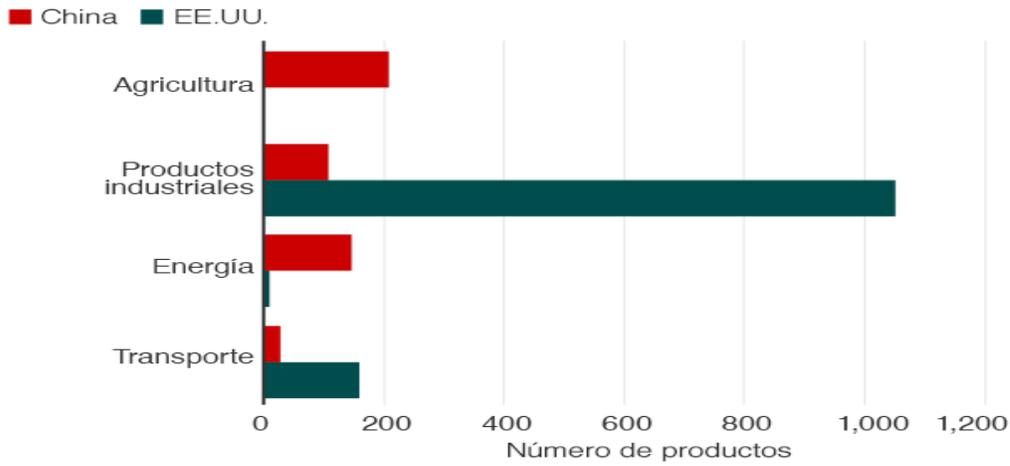
Según el economista jefe del DBS Taimur Baig⁷⁶, una guerra comercial en su máximo esplendor, podría llevar a una reducción del crecimiento económico de alrededor del 0,5% o más.

Además, esta guerra podría derivar en un cambio en los flujos de manufactura hacia estos países, o a que otros países como Corea del Sur, Singapur, Taiwán o México aprovecharan y vendieran a Estados Unidos sus manufacturas, aunque ese cambio requeriría tiempo, y además de que sería difícil imaginar quién podría igualar la escala de la demanda de China. Pero de lo que se debe estar seguro, es que al final, todos los consumidores acabarían pagando más por los productos que comercian entre sí estas 2 potencias.

Todo esto trajo, consigo a lo largo de 2018 y 2019 un aumento en la volatilidad en el mercado de valores; por si fuera poco derivado de esta guerra comercial, se dio un incidente entre Google y Huawei, en el que Google anunció que dejaría de proporcionar actualizaciones de su sistema operativo Android a los propietarios de teléfonos de la marca Huawei y que las nuevas unidades de dicha marca no podrían utilizar las aplicaciones básicas para funcionar, lo que generó un sinnúmero de rumores sobre el futuro de la compañía asiática.

⁷⁶ Véase <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-44735016>, Fecha de consulta 30/05/20 a las 2:06 pm.

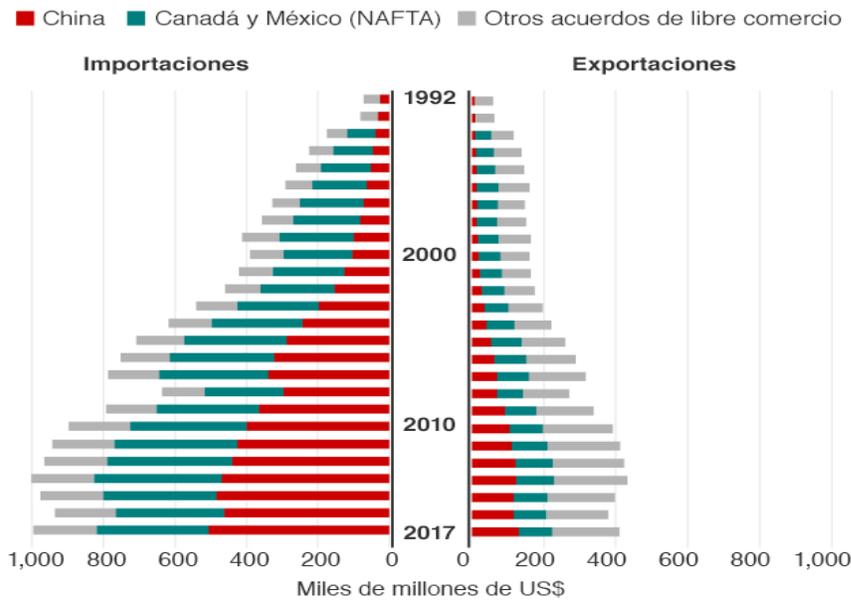
ILUSTRACIÓN 4.7 SECTORES MÁS AFECTADOS DE USA Y CHINA CON LA GUERRA COMERCIAL



Nota: Datos al 15 de junio de 2018

FUENTE: PETERSON INSTITUTE FOR INTERNATIONAL ECONOMICS | BBC

ILUSTRACIÓN 4.8 PRINCIPALES SOCIOS COMERCIALES DE USA



FUENTE: COMISIÓN DE COMERCIO INTERNACIONAL DE USA. OFICINA DEL CENSO DE USA | BBC

4.6 Política Monetaria (USA-México)

En este apartado se presentará de manera general un seguimiento de la política monetaria en México y USA, aunque se dividirá en 2 partes; por un lado, el actuar de los bancos centrales (USA y México) antes de la pandemia y, por otro lado, el actuar durante la pandemia.

4.6.1 Política Monetaria Antes de la pandemia

En primer lugar, a lo largo de 2018 y 2019 la economía de USA continuó creciendo, situando el PIB por encima de su nivel potencial (situación no sostenible en el largo plazo), comportamiento que se estimuló más debido a la baja en los impuestos corporativos en dicho país (para volver atractivo al país y tratar de repatriar capital), podemos apreciar la evolución del PIB de USA en la ilustración 4.9.

Por su parte la tasa de desempleo disminuyó a niveles históricos, como se puede apreciar en la ilustración 4.10, llegando a tasas inferiores al 4%, evidenciando una fortaleza del mercado laboral de USA; por su parte, la inflación mostró una tendencia positiva desde 2016 a 2018 (como lo muestra la ilustración 4.11), aunque siendo siempre inferior al 3%. A finales de 2018, la FED se propuso llevar la inflación al 2% (situación que no se pudo concretar), aunque terminó fluctuando entre 2 y 3% siendo que tenía un poco de presión por parte de un mercado laboral fuerte. Estos indicadores permitieron que de 2018 a 2019 el índice del dólar (DXY, que compara al dólar de USA contra las monedas desarrolladas más bursátiles: euro, libra esterlina, franco suizo, yen japonés, dólar canadiense y corona sueca) se apreciara de manera importante, como se logra apreciar en la ilustración 4.12.

En cuanto a la política monetaria, la FED incrementó su tasa de referente en 10 ocasiones desde 2016 a 2018, llegando a situarla en 2.5% para finales de 2018 (ilustración 4.13), esto generó que los bonos gubernamentales se volvieran más atractivos y así se atrajo más capital al país (parte del capital invertido en acciones volteó a comprar bonos), sumando a ello que la curva de rendimiento de los bonos de USA se empezaría a invertir, efecto que causaría que los inversionistas tendrían un mayor atractivo en tener bonos de corto plazo que de largo plazo.

Para 2019, la presión de la guerra comercial entre China y USA, la desaceleración de la economía norteamericana y los conflictos geopolíticos a lo largo del globo, hicieron que la FED sintiera mayor presión para bajar la tasa de referencia en 25 puntos base y generando un ciclo de bajas. El primer ajuste de tasa fue en julio, el segundo en septiembre y el tercero fue en octubre de 2019, fecha a partir de la que la FED decidió mantener su tasa sin cambios el resto de 2019, como se logra observar en la ilustración 4.13.

Para el caso de México, se nota la recuperación del PIB a partir del mínimo registrado en 2016, pero a partir de 2019 se percibe también una disminución en el dinamismo económico, debido a factores tanto externos (renegociación del TLCAN, Brexit, guerra comercial) como internos (incertidumbre política, económica y comercial, narcotráfico, inseguridad, entre otros), los que detonaron que de 2018 a 2019 se observara una fuerte volatilidad y, la baja en la inflación (tendencia que empezó desde 2018, como lo muestra la imagen 4.15).

En cuanto a la política monetaria mexicana, desde 2015 Banxico subió 11 alzas en su tasa de referencia (Ilustración 4.10), debido a la incertidumbre financiera (tanto interna como externa) y actuando en *tándem* con la FED (esto para mantener un diferencial de tasas amplio el cual vuelve atractivo a México en términos de inversión).

4.6.2 Política Monetaria durante la pandemia

Y llegó 2020, donde el número de infectados fuera de China empezó a incrementarse y con ello el miedo a una parálisis de la economía global. Sería en marzo de 2020, cuando la FED redujo la tasa de interés dos veces de manera urgente, efecto no observado desde la crisis financiera de 2008.

El primer recorte, de medio punto porcentual, se aplicó el 3 de marzo, mientras que el segundo, de un punto entero, tuvo lugar el 15 de marzo, lo que hizo que la tasa volviera a ser prácticamente de cero (oficialmente establecida en un rango de 0% a 0.25%). La reducción tuvo por objeto mantener bajo el costo de los préstamos para los bancos y por extensión a sus clientes (corporativos e individuos), con el fin de asegurar que los prestatarios tuvieran un amplio acceso al crédito durante la crisis. Esta no sería la única medida que tomaría la FED para hacerle frente a la crisis del coronavirus; a continuación, se enlistan otras medidas tomadas por el banco central⁷⁷:

- Alivio cuantitativo (*Quantitative Easing* o QE por sus siglas en inglés):
- Ventana de descuento
- Líneas temporales de canje de divisas entre bancos centrales
- Mecanismo de préstamos de valores respaldados por activos a plazo (talf)
- Servicio de financiación de pagarés (cpff)
- Instrumento de créditos de agentes primarios (pdcf)
- Línea de crédito empresarial del mercado primario (pmccf)
- Línea de crédito empresarial del mercado secundario (smccf)
- Línea de liquidez de fondos mutuos del mercado monetario (mmflf)

⁷⁷ Véase <https://es.reuters.com/article/businessNews/idESKBN21I2AD>

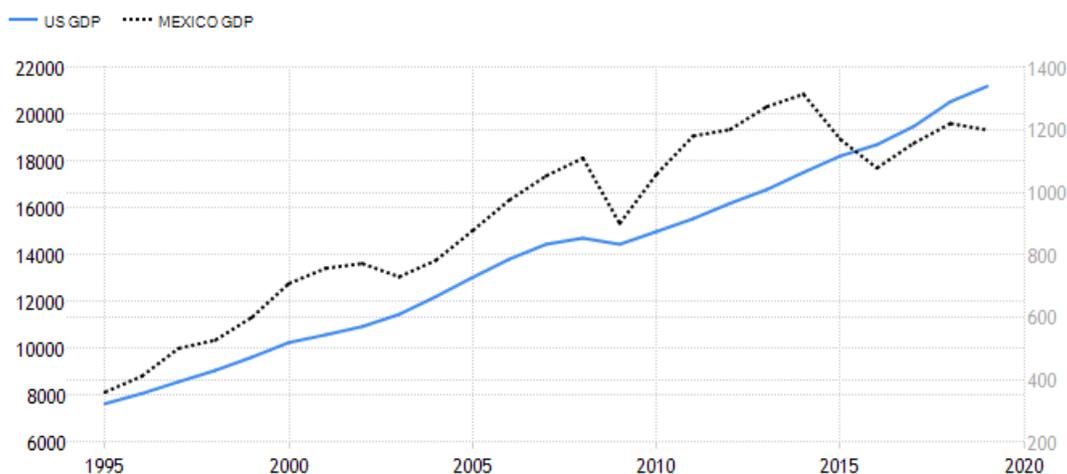
Evidentemente estos mecanismos han hecho que la hoja de balance (o balance general) de la FED aumentara a niveles nunca antes vistos, como lo muestra la ilustración 4.14, donde se observa claramente como a partir de los QEs ilimitados, el balance se dispara. Esto generó que el índice dólar (DXY) empezara a tener episodios de volatilidad elevados, como se muestra en el último tramo de la ilustración 4.12.

Todas estas medidas se detonaron para tratar que la economía de USA pudiera sobrellevar la crisis⁷⁸, dado la naturaleza de esta, dichas medidas monetarias no van solas, adicional a ellas se agregaron medidas fiscales para tratar de que el consumo de los ciudadanos no caiga tanto (también llamado “*Helicopter Money*” o Dinero Helicóptero⁷⁹).

En el caso de México⁸⁰ no contó con la diversidad de instrumentos para hacer frente a dicha crisis a comparación de la FED, algunos de ellos son:

- Operaciones de Mercado Abierto:
- Swaps (canje)
- Operación de Reporto
- Compra/Venta Definitiva de Valores Denominados en Moneda Nacional
- Ventanillas para el Manejo de Liquidez

ILUSTRACIÓN 4.9 PIB USA VS MÉXICO EN MILES DE MILLONES DE DOLARES DE 1995.01-2020.03



Fuente: TradingEconomics

⁷⁸ Al momento de escribir este trabajo, aun no se conoce si estas medidas fueron suficientes para hacer frente a esta crisis.

⁷⁹ Se le conoce como Dinero Helicóptero a la forma directa de dar dinero a los ciudadanos con el fin de estimular la economía en un periodo de recesión o cuando los tipos de interés son cercanos a cero.

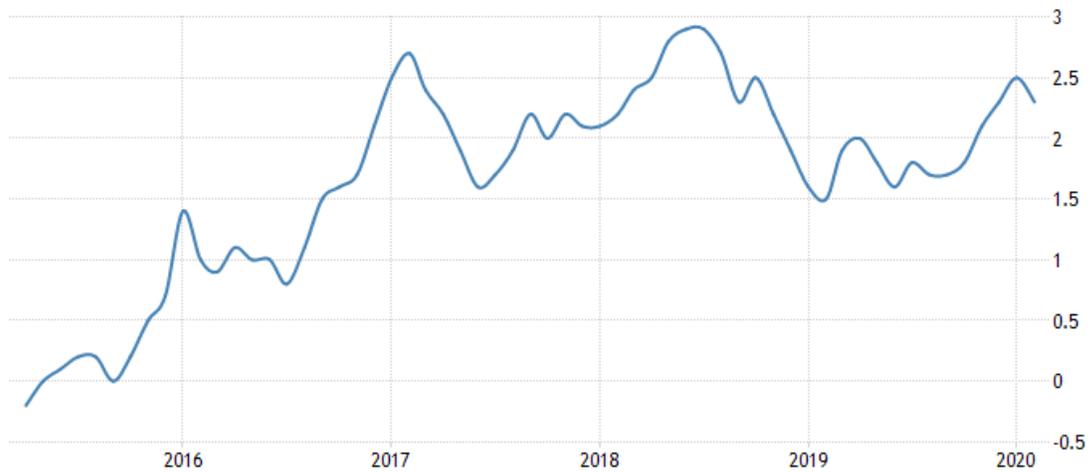
⁸⁰ Al momento de escribir este trajo, aún no se conoce si estas medidas fueron suficientes para hacer frente a la crisis.

ILUSTRACIÓN 4.10 TASA DE DESEMPLEO EN USA DE 2012.01-2020.03



Fuente: TradingEconomics.com | U.S BUREAU OF LABOR STATISTICS Gráfica en porcentaje.

ILUSTRACIÓN 4.11 TASA DE INFLACIÓN DE USA DE 2015.01-2020.03



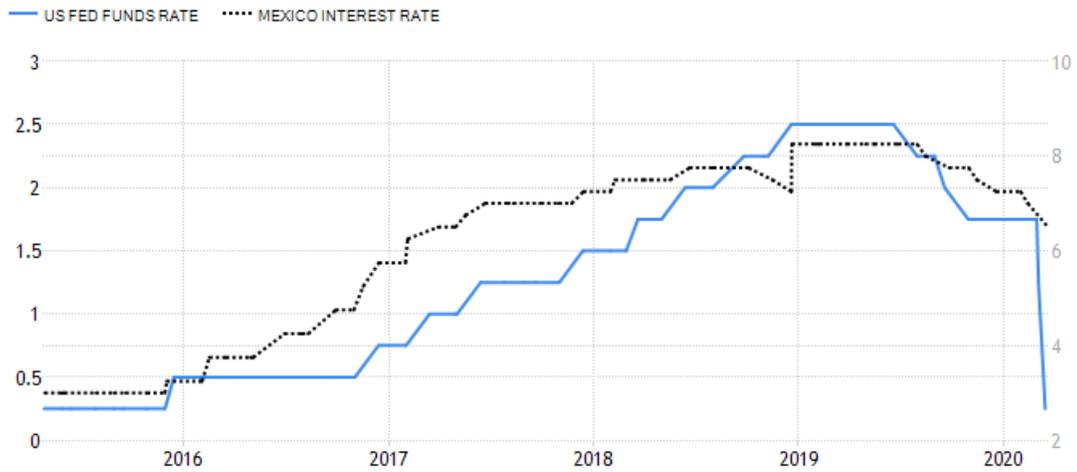
Fuente: TradingEconomics.com | U.S BUREAU OF LABOR STATISTICS Gráfica en porcentaje.

ILUSTRACIÓN 4.12 ÍNDICE DXY DEL DÓLAR ESTADUNIDENSE DE 2014.01-2020.03



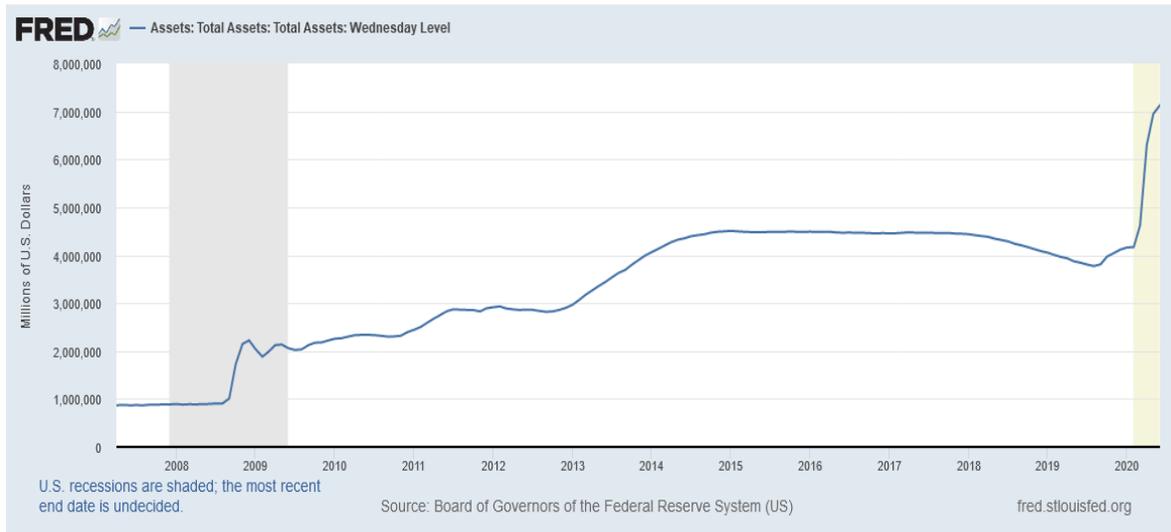
Fuente: TradingEconomics.com

ILUSTRACIÓN 4.13 TASA DE INTERÉS USA (FED FUNDS RATE) VS MÉXICO (TASA DE FONDEO BANCARIO A 1 DÍA) DE 2015.01-2020.03



Fuente: TradingEconomics.com Gráfica de doble entrada en el eje izquierdo porcentaje de la tasa de USA y en el eje derecho porcentaje de la tasa de México

ILUSTRACIÓN 4.14 TOTAL DE ACTIVOS DE LA HOJA DE BALANCE DE LA RESERVA FEDERAL DE USA DE 2007.01-2020.06



Fuente: Federal Reserve Bank of ST. Louis (FRED)

ILUSTRACIÓN 4.15 TASA DE INFLACIÓN DE MÉXICO DE 2015.01-2020.03



Fuente: TradingEconomics.com | INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI)

4.7 El mercado de reportos en USA

Los contratos de reporto (repos)⁸¹ en las transacciones del mercado interbancario desempeñan un papel crucial. En dicho mercado los bancos saldan sus cuentas de muy corto plazo.

El reporto es una operación usual en el mercado de deuda, mediante la cual el reportado (intermediario) entrega al reportador (inversionista), títulos de crédito a cambio de su precio actual, con el compromiso de recomprarlos en un plazo anterior al vencimiento de los títulos, por el mismo volumen y al mismo precio de adquisición, más un premio que otorga el reportado, equivalente a una tasa de rendimiento por los días de la operación.

Algunos agentes que participan en el mercado de reportos son:

- Intermediarios (Reportados): Bancos, Casas de Bolsa, entidades de ahorro y préstamo y demás Instituciones financieras, NO Fondos de Inversión.
- Inversionista (Reportadores); Bancos, Casas de Bolsa y entidades de ahorro.

A mediados de septiembre de 2019, la cantidad de efectivo disponible en USA cayó justo cuando la demanda de repos aumentó, lo que impulsó las tasas de reportos al alza, como se observa en la ilustración 4.16. La volatilidad de las tasas de préstamo a corto plazo genera preguntas sobre la capacidad de la FED para dirigir la economía. Las turbulencias del mercado de renta fija podrían impulsar los costos de endeudamiento del gobierno de los Estados Unidos.

Nueva deuda del Tesoro entró en el mercado, aterrizando en los balances de los inversionistas justo cuando el efectivo estaba comenzando a disminuir. Sin embargo, las tensiones persistieron incluso cuando la Fed inyectó liquidez, lo que llevó a muchos a sospechar que un problema más amplio estaba en funcionamiento: el efectivo se había vuelto demasiado escaso en el sistema financiero. Desde entonces, la Fed ha trabajado para reponer las reservas mediante la compra de letras del Tesoro, inyectando así efectivo en la economía, aunque los grandes bancos no impulsaron la solución a dicho problema.

Jamie Dimon (CEO de JP Morgan Chase & Co.) comentó que las normas adoptadas desde la crisis financiera de 2008 son muy duras en cuanto a las reservas bancarias, lo que dificulta su rentabilidad. Desde la crisis, las nuevas reglas han frenado los comportamientos más arriesgados de los bancos en una serie de frentes. Pero las medidas que más le han llamado la atención en este episodio de repos son aquellas destinadas a impedir que los

⁸¹ Véase <https://www.rankia.mx/blog/como-comenzar-invertir-bolsa/3345284-reporto-prestamo-valores-titulos-deuda#:~:text=El%20reporto%20es%20una%20operaci%C3%B3n%20usual%20en%20el,de%20rendimiento%20por%20los%20d%C3%ADas%20de%20la%20operaci%C3%B3n.>

bancos se queden sin fondos en caso de que un shock del mercado los hiciera menos dispuestos, o capaces, de prestarse unos a otros.

En los últimos años se han abierto a debate dos reglas que imponen altos estándares a los bancos⁸². La primera, conocida como coeficiente de apalancamiento suplementario, es una regla de capital que obliga a los bancos a mantener suficiente efectivo y acciones en proporción a sus activos globales. La segunda, es la relación de cobertura de liquidez, la cual les exige tener suficientes activos líquidos o efectivo para cumplir con el equivalente a las salidas de efectivo que esperarían en 30 días. Aquellos bancos globales de importancia sistémica (o G-SIB), de los cuales JPMorgan es el más grande, también deben tener una porción adicional de capital como amortiguador.

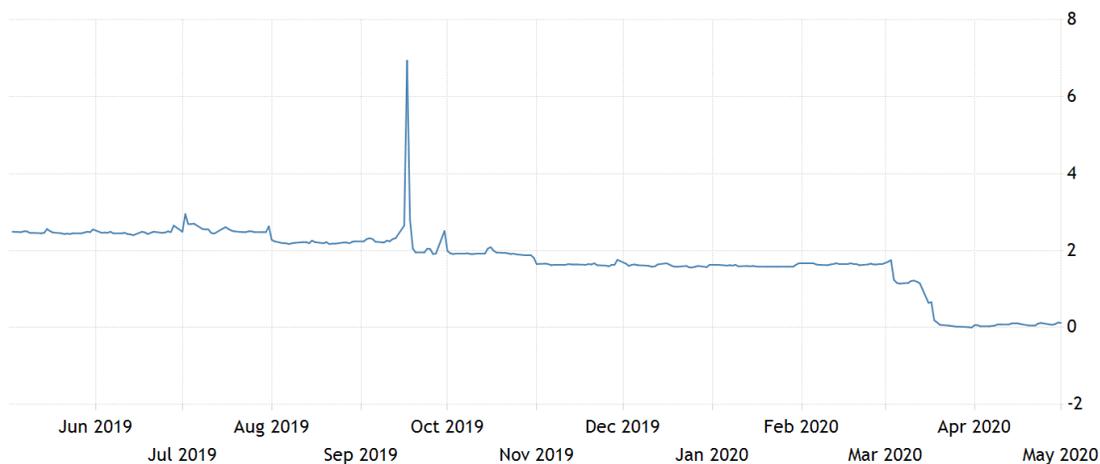
Jerome Powell (actual presidente de la FED) y Steven Mnuchin (secretario del Tesoro de USA) se han centrado en un tema relacionado, algo llamado liquidez intradía. Antes de la crisis de 2008, se permitía a los bancos (bajo algunas condiciones) ejecutar "*daylight overdrafts*" en sus cuentas con el banco central en el transcurso del día, para cubrir cualquier brecha entre los grandes pagos y los acuerdos a medida que avanzaban. Los bancos entonces harían una red en todo lo que se debía en el cierre del negocio. Durante la última década, la Fed ha empujado a los bancos hacia la liquidación de esas transacciones, a medida que surgen en lugar de esperar hasta el final del día.

Es muy probable que esa liquidación intradía que sostienen algunos bancos genera oscilaciones muy agudas en sus reservas durante el día, lo que les dificulta comprometer dinero en efectivo en otro lugar. Una postura más flexible de la Fed en torno a los sobregiros podría ayudar a los márgenes, pero no necesariamente satisfacer a los bancos para que los reguladores reduzcan sus requisitos de reserva. Algunos expertos mencionan que las presiones se acumulan a partir de "cuellos de botella" en el flujo de fondos a través del sistema financiero, generando escasez temporal, lo que puede empeorar cuando los bancos acumulan efectivo para prepararse para las revisiones regulatorias, sobre todo alrededor de fin de año.

Los críticos dicen que los bancos están usando esta liquidación intradía para cabildear por la reversión de las regulaciones, mientras que la FED ha empezado a examinar esta situación.

⁸² Véase <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-01-06/why-the-u-s-repo-market-blew-up-and-how-to-fix-it-quicktake>

ILUSTRACIÓN 4.16 TASA DE REPORTOS EN USA DE 2019.04-2020.04



Fuente: TradingEconomics | FEDERAL RESERVE. Cifras en porcentaje.

4.8 Petróleo

La escalada en las tensiones entre USA e Irán y la amenaza de nuevas sanciones contra el régimen de Teherán, aceleraron la subida del precio del crudo hasta alcanzar los 70 dólares, en zona de máximos desde mayo 2019.

Desde entonces, el freno en dichas tensiones activó una corrección que se aceleró en los últimos días de febrero 2020. Las desinversiones en el mercado del petróleo se multiplicaron desde que se dispararon las alertas sobre los efectos económicos del Covid-19.

El aislamiento de zonas cada vez más amplias en China y las restricciones al transporte enfrían las perspectivas de consumo de petróleo, a la espera de que las autoridades opten por medidas más drásticas sobre el tráfico aéreo en sus intentos por contener la epidemia en China.

La emergencia sanitaria obligó a poner en revisión las estimaciones de crecimiento del gigante asiático, clave en el mercado del petróleo. En medio de estas alertas, las cifras sobre reservas de crudo diluyen los efectos de los recortes adicionales adoptados por la OPEP.

A principios de marzo de 2020, se reunieron los miembros de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) y algunos países que no pertenecen al grupo. El principal tema de la agenda fue discutir un potencial recorte de la producción de 1.5 millones barriles diarios, es decir, alrededor del 1.5% de la producción mundial. La idea era evitar que los precios se siguiesen hundiendo, ya que se esperaba un fuerte descenso de la demanda. Arabia Saudita, el segundo mayor productor del mundo, quería que Rusia —el tercero en la

lista— y otros países fuera de la OPEP, se encargasen de cortar unos 500,000 barriles diarios de producción. Desde 2016, los saudíes y los rusos habían trabajado en conjunto en temas relativos a la producción petrolera. Sin embargo, en esta oportunidad los rusos se negaron. Rechazaron sumarse a los nuevos recortes, o incluso extender los cortes de producción ya vigentes, que debían expirar a fines de marzo. Los saudíes contraatacaron, diciendo a sus clientes que acelerarían la producción y reducirían los precios para los compradores asiáticos.

Esto ocasionó que los precios del petróleo sufrieran su peor caída en un día desde la Guerra del Golfo en 1991. El precio de la referencia del crudo estadounidense (WTI- West Texas Intermediate) llegó a ubicarse en terreno negativo, cotizando en USD\$-38 por barril, causando pérdidas masivas a los inversionistas globales y detonando la incertidumbre global.

4.9 Elecciones de USA (2020)

Las elecciones presidenciales en Estados Unidos se celebrarán el 3 de noviembre de 2020, aunque el proceso inició hace más de un año y, de una lista de aspirantes demócratas y republicanos, ya solo quedan dos, Donald Trump (Partido Republicano y actual presidente de USA) y Joe Biden (Partido Demócrata y ex vicepresidente de USA durante la administración de Barack Obama).

Capítulo 5. Cálculo del VaR y ES en el portafolio de inversión: caso práctico.

Introducción.

En este apartado se iniciará con el análisis exploratorio de las empresas que forman el IPC, obteniendo precios máximos y mínimos y sus rendimientos; en la sección 5.2 se crearán 3 portafolios de inversión con sus respectivos cálculos y restricciones, comenzando con el Portafolio de Mínima Varianza; posteriormente se obtendrá el Portafolio Optimizado por Sharpe y finalmente a partir de este último, se construirá un Portafolio Rebalanceado. En la sección 5.3 se comparan estos 3 portafolios contra el IPC con el objetivo de medir su efectividad y se presentan medidas de *performance* de estos portafolios. Finalmente, en la sección 5.4 se estimará el cálculo del Valor en Riesgo (VaR) por diversas metodologías y del *Expected Shortfall* (ES).

5.1 Análisis exploratorio de los datos

5.1.1 Análisis IPC

El primer punto que se va a analizar, será el *benchmark* del mercado de renta variable para México, que es el Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) con datos diarios desde el 10 de enero de 2010 hasta el 30 de abril de 2020. Se estableció este periodo ya que el calendario de resultados corporativos del primer trimestre de 2020 comenzó en abril, además de que la fecha de rebalanceo del IPC era cercana a esa fecha, por lo que las empresas que formaban parte del índice, cambiarían.

La ilustración 5.1 permite observar la tendencia alcista del IPC de 2010 a 2017, destaca que, a partir de 2017, la tendencia se invierte posiblemente por el nombramiento de Donald Trump como presidente de USA⁸³, punto a partir del cual el IPC comenzó a ajustarse a la baja y por si fuera poco, el contexto interno del país (político, social y económico) le inyectó mayor incertidumbre al índice.

Como se explicó con mayor detalle en el capítulo 4, el cambio político en México y principalmente la cancelación del NAICM, hicieron que el índice se ajustara más, creando un entorno de incertidumbre sobre la inversión; pero no era todo, ya que el efecto del COVID-19 en el país y la respuesta lenta e insuficiente del gobierno mexicano, aunado a la crisis del petróleo, hicieron que el IPC cayera rápidamente durante la segunda mitad de febrero y la primera mitad de marzo de 2020, generando una pequeña recuperación a mediados de abril. Este cambio de tendencia será importante a la hora de calcular el portafolio de inversión, ya que disminuye el rendimiento del índice además de que, al acompañarse de una tasa de interés alta, disminuyen las posibilidades de rendimientos atractivos.

⁸³ Durante campaña Donald Trump arremetió contra los inmigrantes latinos, además de múltiples comentarios sobre la creación de un Muro en la frontera con México, actos que detonaron en una gran volatilidad a las bolsas de USA y de México.

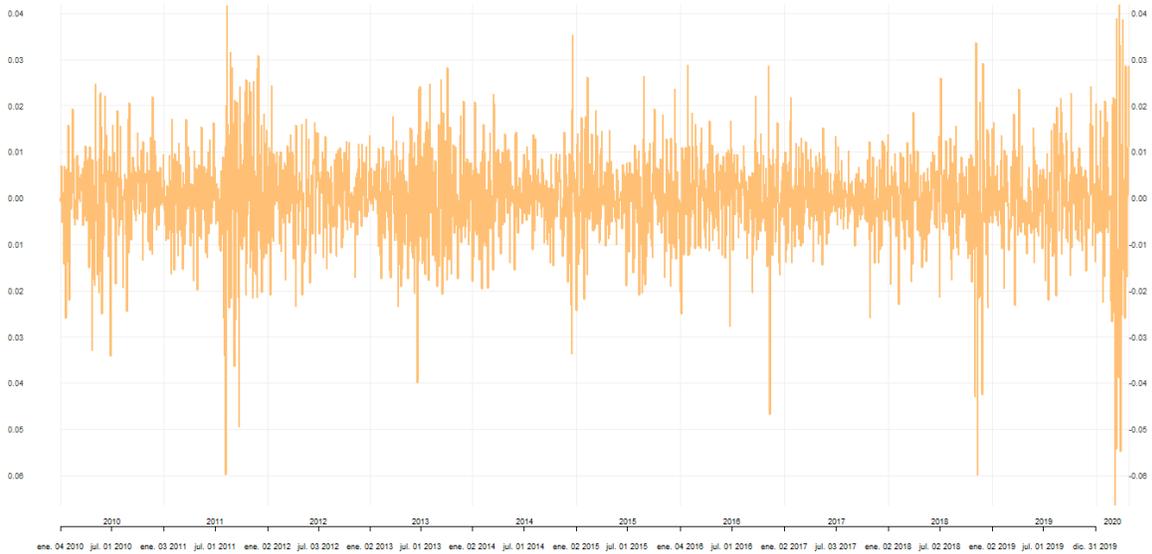
ILUSTRACIÓN 5.1 ÍNDICE DE PRECIOS Y COTIZACIONES (EN PUNTOS) CON DATOS DESDE 2010.01-2020.04



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

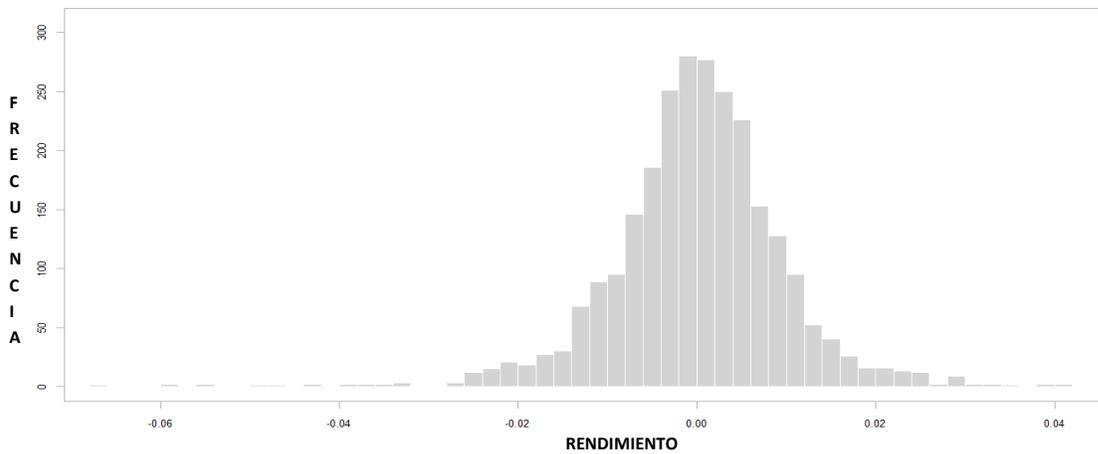
La ilustración 5.2 muestra los rendimientos diarios del IPC destacando los periodos de alta volatilidad, como a inicios de 2011, inicios de 2013 (primeros meses de la entrada de Enrique Peña Nieto a la Presidencia), mediados de 2014 (Reformas Estructurales), 2016 (elecciones estatales y elecciones presidenciales en USA), 2018 (Elecciones presidenciales en México) y finalmente inicios de 2020 (impactos Covid-19), año que hasta el momento ha sido el año más volátil de los últimos 10 años. Por su parte la ilustración 5.3 detalla un histograma indicando la distribución de los rendimientos diarios del IPC, en el que se ve claramente observaciones extremas en ambas colas de la distribución, lo cual indicaría que los rendimientos del índice no siguen una distribución normal y presenta valores extremos, donde el rendimiento negativo más alto fue el 9 de marzo de 2020 y curiosamente el rendimiento positivo más alto fue el 24 de marzo de 2020 (tan sólo dos semanas después).

ILUSTRACIÓN 5.2 RENDIMIENTOS DIARIOS DEL ÍNDICE DE PRECIOS Y COTIZACIONES (IPC) DESDE 2020.01-2020.04



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

ILUSTRACIÓN 5.3 DISTRIBUCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DIARIOS DEL ÍNDICE DE PRECIOS Y COTIZACIONES (IPC) DESDE 2020.01-2020.04



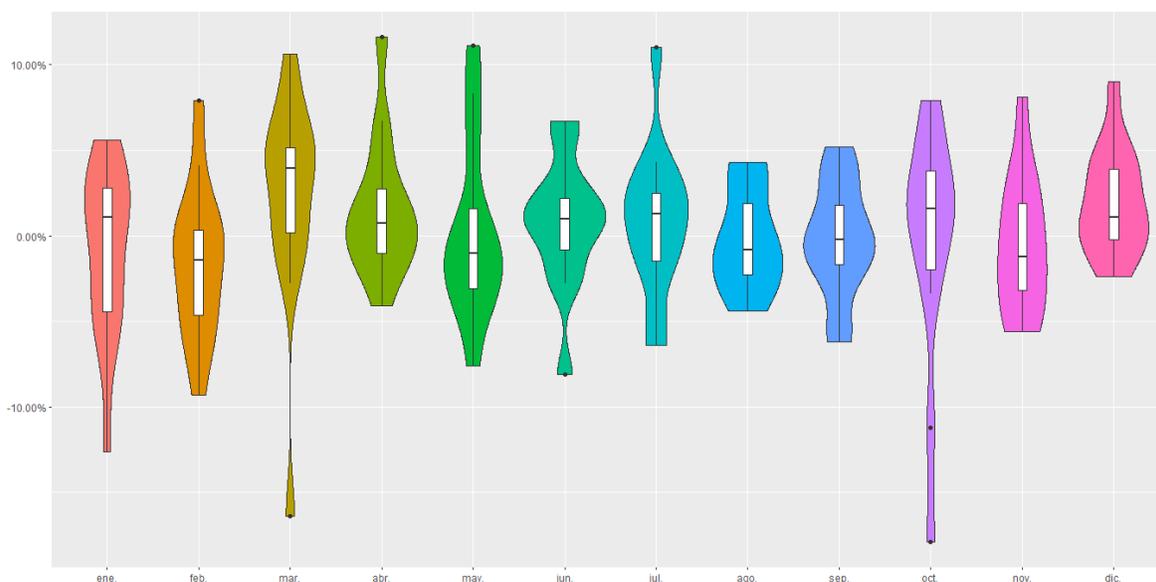
Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

Dado lo anterior se decidió agrupar los rendimientos por meses (sin importar el año, donde por ejemplo el mes de enero tendría todos los eneros desde 2010 a 2020 y así sucesivamente) y buscar qué mes, de acuerdo a los datos, es en el que predominan más los rendimientos positivos y negativos. La ilustración 5.4 muestra lo anterior, esta grafica es conocida como gráfica de violín, y tiene la particularidad de crear un diagrama de caja de cada mes agrupado, mostrando el valor mínimo y máximo, la mediana, los cuartiles 1, 2 y 3 y los datos extremos (puntos negros); adicional esto, agrega la distribución de los

rendimientos de cada grupo de mes mostrando en conjunto el comportamiento y la distribución de cada mes sin importar el año.

Los resultados mostrados en esta ilustración 5.4 destacan que el mes con más rendimientos negativos es enero (esto se obtiene buscando el bigote inferior más grande de cada mes), seguido por febrero, por lo que podemos confirmar que el inicio de cada año es el menos positivo para el IPC, y que el mejor mes (donde se acumulan más rendimientos positivos) es mayo (tal vez debido a que se presentan los resultados corporativos de las empresas relativos al Primer Trimestre de cada año, seguido por junio, noviembre y diciembre. Además, se puede observar la existencia de valores atípicos (negativos) en marzo, junio y octubre, que hacen que la cola izquierda de la distribución (rendimientos negativos) se alargue mucho y cree problemas en las colas, además de que se observa claramente que ningún mes posee una distribución normal. Estas observaciones son fundamentales y deben tomarse en cuenta a la hora de calcular el VaR y el ES de algún activo financiero.

ILUSTRACIÓN 5.4 GRÁFICA DE VIOLÍN DE LOS RENDIMIENTOS AGRUPADOS POR MES DEL ÍNDICE DE PRECIOS Y COTIZACIONES (IPC) DESDE 2010.01-2020.04

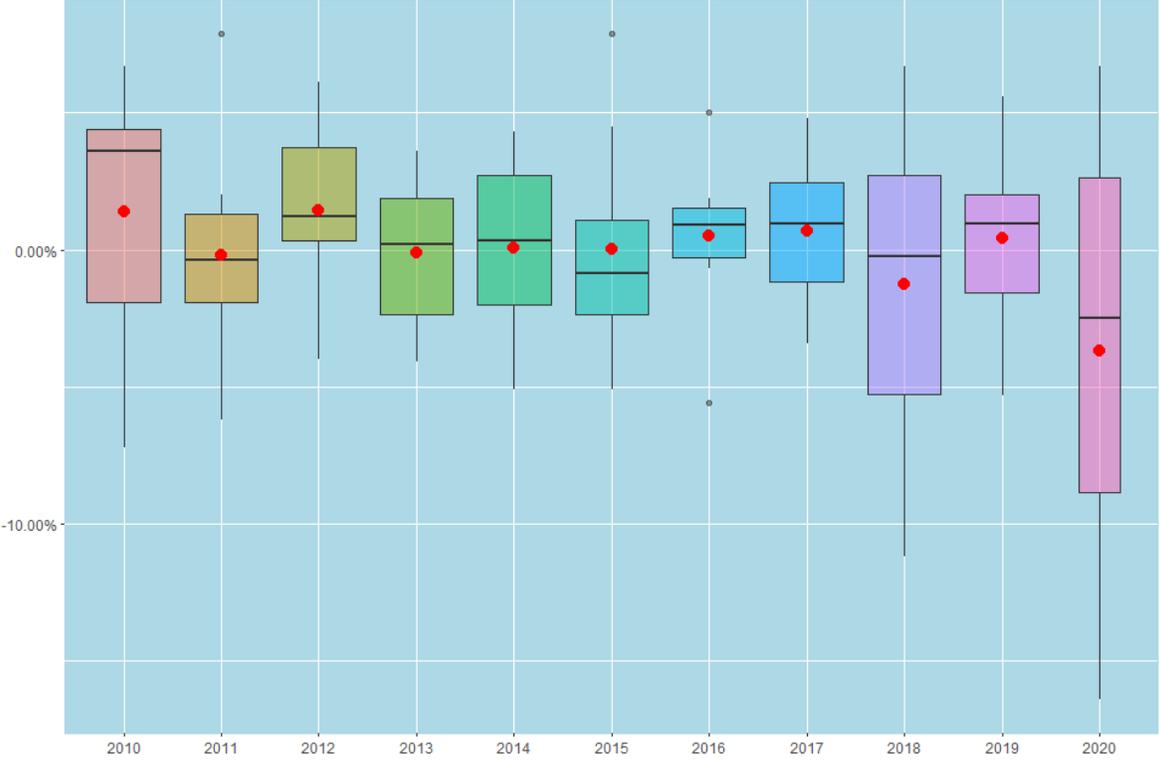


Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

La ilustración 5.5 por su parte, muestra los diagramas de caja por año, destacando en primer lugar que 2010 es el año en el que aproximadamente 50% de los rendimientos diarios rondaron entre -3 y 3%, seguido por el año 2012. Destaca también el año 2016 presente un diagrama de caja muy comprimido, en el que los datos se concentraron alrededor de 0% de rendimiento diario, pero donde aproximadamente 50% de los rendimientos fueron ligeramente positivos. El año con menor desempeño en los rendimientos diarios fue 2018, en el que cerca del 50% de los datos están en terreno negativo. Por último, el año de 2020 parece indicarnos que podría ser el de menor rendimiento de los últimos 10 años. Otro

aspecto que señala esta ilustración es el rendimiento promedio de cada año, que oscila alrededor de 0%.

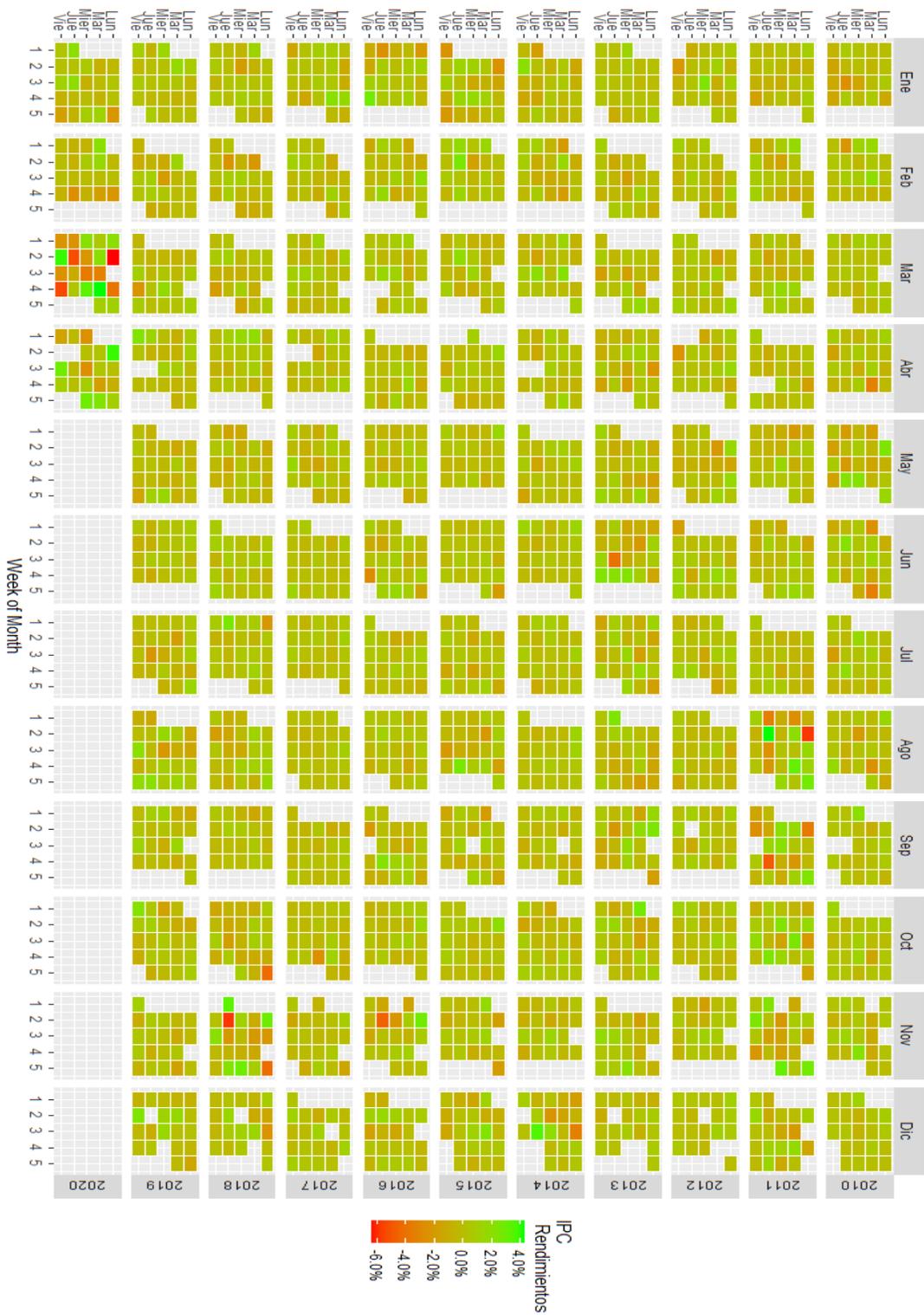
ILUSTRACIÓN 5.5 DIAGRAMA DE CAJA DE LOS RENDIMIENTOS DEL ÍNDICE DE PRECIOS Y COTIZACIONES (IPC) POR AÑO DESDE 2010.01-2020.04



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

Por otro lado, la ilustración 5.6 presenta un calendario que muestra el rendimiento diario del IPC, en donde se puede ver el día, la semana, el mes y el año. Lo primero que llama la atención es que más del 80% de los rendimientos diarios oscila alrededor de 0% a lo largo de la muestra (2010 -2020.04), además del fuerte incremento de volatilidad diaria del IPC en marzo de 2020, donde se observan rendimientos diarios muy altos y bajos, mostrando que ha sido el mes más volátil de los últimos 10 años.

ILUSTRACIÓN 5.6 CALENDARIO DE LOS RENDIMIENTOS DIARIOS DEL ÍNDICE DE PRECIOS Y COTIZACIONES DESDE 2010.01-2020.04



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

5.1.2 Análisis de las empresas seleccionadas

Para el presente análisis, se decidió utilizar las 35 empresas que componen el Índice de Precios y cotizaciones (IPC), debido a que es el índice más relevante de la bolsa en México. Derivado de que la serie de precios se hizo a través de Yahoo Finance, estos datos no pudieron ser encontrados por el software: LABB.MX (Genomma Lab Internacional, S.A.B. de C.V.), KOFL.MX (Coca Cola-Femnsa) y BSMXB.MX (Banco Santander México), estas emisoras no se incluyeron en el estudio, a pesar de que pertenecen al IPC.

Por su parte, CUERVO.MX y BBAJIOO.MX, no tienen datos desde 2010, por lo cual, en el momento de homogeneizar la base de datos de los precios, el software toma la Variable con menos datos y la iguala a todas las demás. Esto ocasiona que la base de datos sea más pequeña y posea menos observaciones; dicho lo anterior, se decidió eliminar de la muestra estas 2 emisoras y así obtener una base de datos con mayor número de observaciones.

Finalmente MEXCHEM.MX cambió de nombre a Orbia Advance Corporation, esto como parte de una estrategia de reestructura y reorganización el 27 agosto de 2019.

Con estas modificaciones, la muestra utilizada es de 25 empresas. La tabla 5.1 muestra el ticker (clave de pizarra), la razón social y el sector de las empresas seleccionadas.

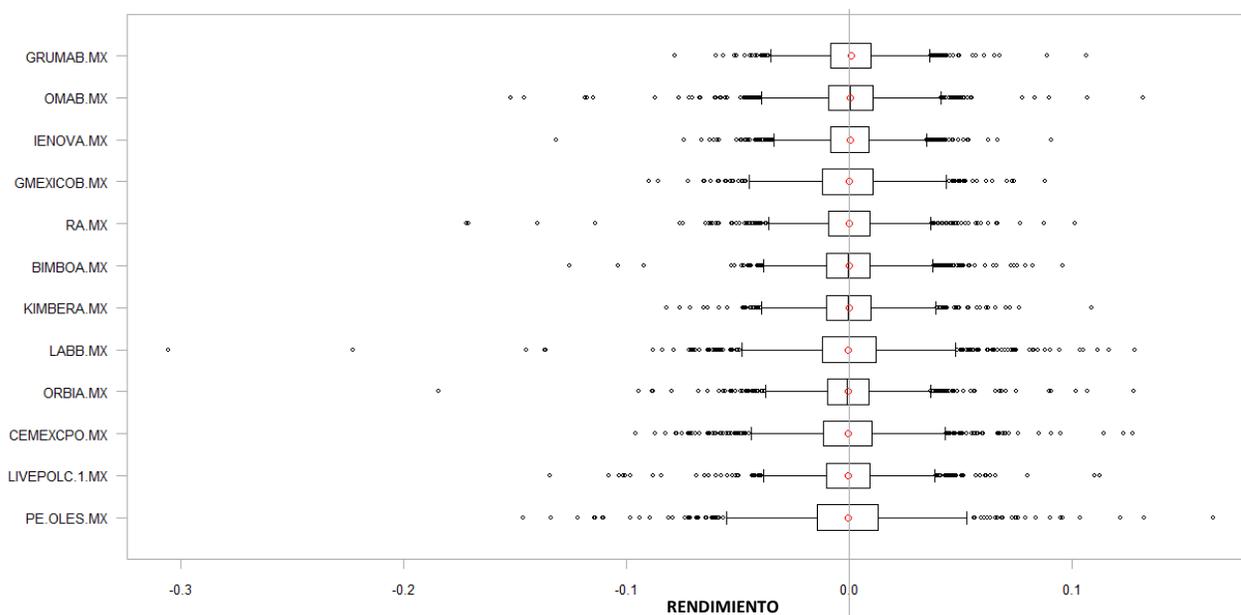
TABLA 5.1 INFORMACIÓN GENERAL DE LAS EMPRESAS SELECCIONADAS

Ticker IPC	Razon social	Sector
BOLSAA.MX	Bolsa Mexicana de Valores, S.A.B. de C.V.	SERVICIOS FINANCIEROS
ASURB.MX	Grupo Aeroportuario del Sureste, S. A. B. de C. V.	SERVICIOS DE AEROPUERTOS
ALPEKA.MX	ALPEK, S.A.B. de C.V.	PRODUCTOS QUIMICOS
LABB.MX	Genomma Lab Internacional, S.A.B. de C.V.	PRODUCTOS FARMACÉUTICOS Y LABORATORIOS
MEGACPO.MX	Megacable Holdings, S. A. B. de C. V.	SERVICIOS DE RADIO Y TELEVISIÓN
GCARSOA1.MX	Grupo Carso, S.A.B. de C.V.	CONTROLADORAS
GENTERA.MX	Genera, S.A.B. de C.V.	SERVICIOS FINANCIEROS DIVERSIFICADOS
TLEVISACPO.MX	Grupo Televisa, S.A.B.	SERVICIOS DE RADIO Y TELEVISIÓN
RA.MX	Regional S.A.B. de C.V.	SERVICIOS FINANCIEROS DIVERSIFICADOS
LIVEPOLC-1.MX	EL PUERTO DE LIVERPOOL, S.A.B. DE C.V.	TIENDAS DEPARTAMENTALES
BIMBOA.MX	Grupo Bimbo, S.A.B. de C.V.	PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ALIMENTOS
GAPB.MX	Grupo Aeroportuario del Pacífico, S.A.B. de C.V.	SERVICIOS DE AEROPUERTOS
GFNORTEO.MX	Grupo Financiero Banorte, S.A.B. de C.V.	GRUPOS FINANCIEROS
KIMBERA.MX	Kimberly-Clark de Mexico, S. A. B. de C. V.	PRODUCTOS DOMÉSTICOS
PINFRA.MX	Promotora y Operadora de Infraestructura, S. A. B. de C. V.	CONCESIONARIAS DE INFRAESTRUCTURA
IENOVA.MX	Infraestructura Energetica Nova, S.A.B. de C.V.	ALMACENADO Y TRANSPORTE DE PETRÓLEO Y GAS
CEMEXCPO.MX	CEMEX, S.A.B. de C.V.	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ALSEA.MX	Alsea, S.A.B. de C.V.	RESTAURANTES
GMEXICOB.MX	Grupo Mexico, S.A.B. de C.V.	MINERÍA Y OTROS METALES
GCC.MX	Grupo Cementos de Chihuahua, S.A.B. de C.V.	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
AC.MX	Arca Continental, S.A.B. de C.V.	PRODUCCIÓN DE BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS
GRUMAB.MX	Gruma, S.A.B. de C.V.	PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ALIMENTOS
AMXL.MX	America Movil, S.A.B. de C.V.	SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES INALÁMBRICAS
OMAB.MX	Grupo Aeroportuario del Centro Norte, S.A.B. de C.V.	SERVICIOS DE AEROPUERTOS
PE&OLES.MX	INDUSTRIAS PEÑÓLES, S. A. B. DE C. V.	MINERALES Y METALES PRECIOSOS

Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

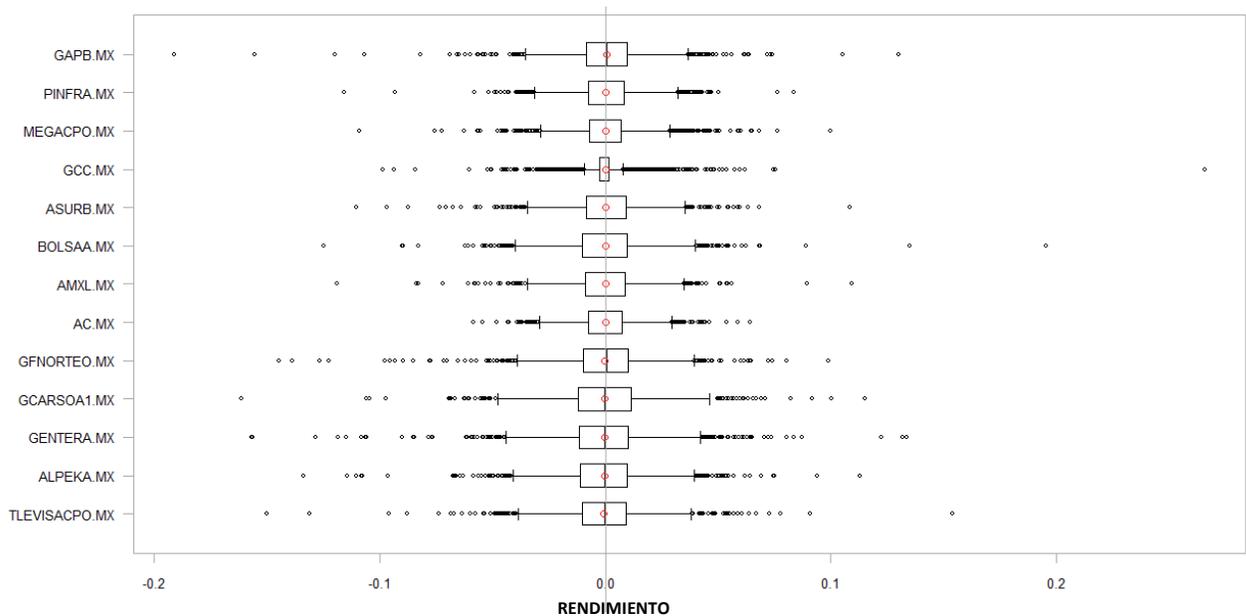
La primera pregunta que surge es: ¿cómo se comportan los rendimientos diarios de las empresas seleccionadas? Para poder responderla, se decidió estimar un diagrama de caja de cada activo; las ilustraciones 5.7 y 5.8 muestran dichos diagramas. Lo primero a destacar es que, en promedio, cerca del 75% de los rendimientos diarios se encuentran en un rango de entre $\pm 3\%$; en segundo lugar, existen múltiples observaciones atípicas (casos extremos tanto positivos como negativos), con lo que se puede intuir la forma de la distribución de cada activo, destacando una alta curtosis (alrededor de 0) y con colas pesadas (debido a los valores extremos), lo cual indicaría que no existe normalidad. Destaca además que el valor atípico más alto en términos absolutos pertenece a LABB.MX, con cerca de 30% en un día y que GCC.MX (observar ilustración 5.8) posee un diagrama de caja muy pequeño (lo que indica que los rendimientos diarios son cercanos a 0%), además de ser el activo con mayor número de valores atípicos. En ambas ilustraciones con punto rojo se observa el promedio aritmético de los rendimientos diarios, donde destaca que los valores son muy cercanos a 0%.

ILUSTRACIÓN 5.7 DIAGRAMA DE CAJA DE LOS RENDIMIENTOS DIARIOS DE LAS EMPRESAS SELECCIONADAS DESDE 2013.03-2020.04



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

ILUSTRACIÓN 5.8 DIAGRAMA DE CAJA DE LOS RENDIMIENTOS DIARIOS DE LAS EMPRESAS SELECCIONADAS DESDE 2013.03-2020.04



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

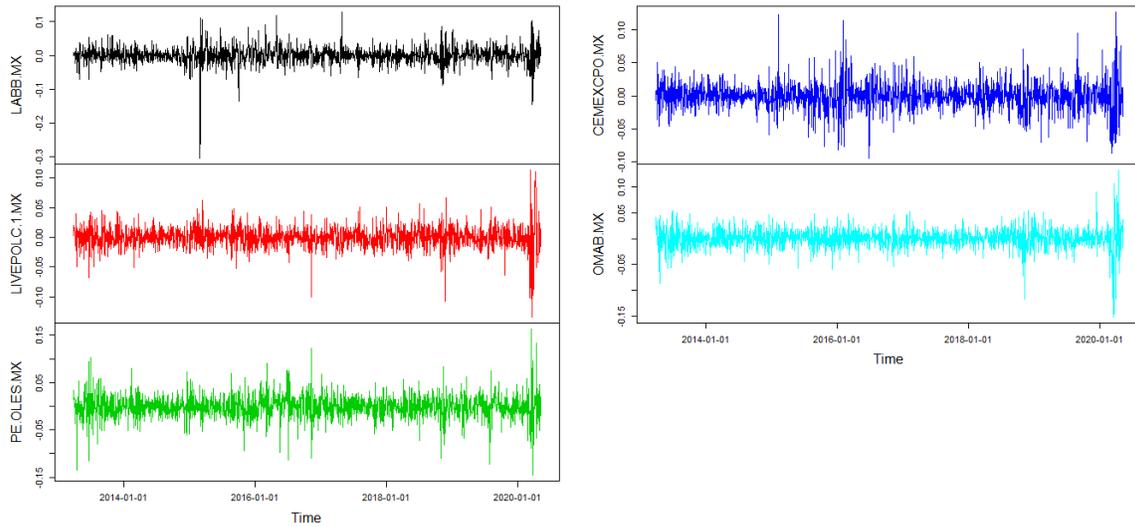
Después de observar el diagrama de caja, lo interesante es observar el aumento de la volatilidad de los rendimientos a lo largo del tiempo en cada acción. Para realizar este análisis de una manera más rápida se dividió la muestra de las acciones en grupos de 5 emisoras.

Para el grupo 1, como primera observación la ilustración 5.9 destaca que LABB.MX mostró un rendimiento negativo relevante a mediados de 2015⁸⁴, debido a la venta de su participación mayoritaria en Grupo Comercial e Industrial Marzam al fondo de capital privado holandés Moench Coöperatief.

Esta gráfica ayuda a visualizar en el tiempo los episodios de alta volatilidad, muchos de ellos debidos a eventos corporativos o económicos que afectan sus operaciones. Destaca el efecto del Covid-19 sobre estas empresas, donde claramente desde inicios de 2020 aumenta la volatilidad de una forma anormal. Las volatilidades más altas para este grupo se observan en Peñoles y el menor aumento en LABB.MX.

⁸⁴ Véase <https://www.debate.com.mx/economia/Genomma-Lab-vende-Marzam-a-fondo-holandés-20150622-0025.html>

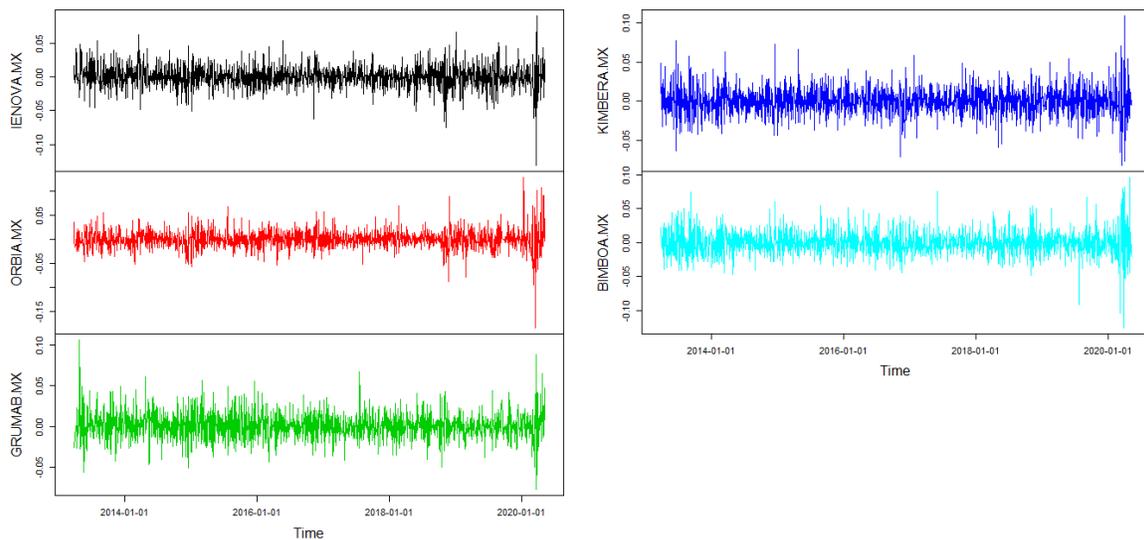
ILUSTRACIÓN 5.9 SERIES DE TIEMPO DE LOS RENDIMIENTOS DIARIOS DE LAS EMPRESAS SELECCIONADAS (GRUPO 1) DESDE 2013.03-2020.04



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

Para el grupo 2 la ilustración 5.10 muestra nuevamente el efecto del Covid-19, en donde la volatilidad más alta se encuentra en BIMBOA.MX y KIMBERA.MX, con rendimientos diarios cercanos a $\pm 10\%$; por otro lado, la emisora con menor volatilidad para ese periodo fue IENOVA.MX, lo cual es interesante debido a que los servicios que ofrece son Transporte, Almacenamiento y distribución de gas LP, gas natural y etano, lo que a primera vista afectaría más su volatilidad, dado el escenario actual del mercado de hidrocarburos, aunque no fue así.

ILUSTRACIÓN 5.10 SERIES DE TIEMPO DE LOS RENDIMIENTOS DIARIOS DE LAS EMPRESAS SELECCIONADAS (GRUPO 2) DESDE 2013.03-2020.04

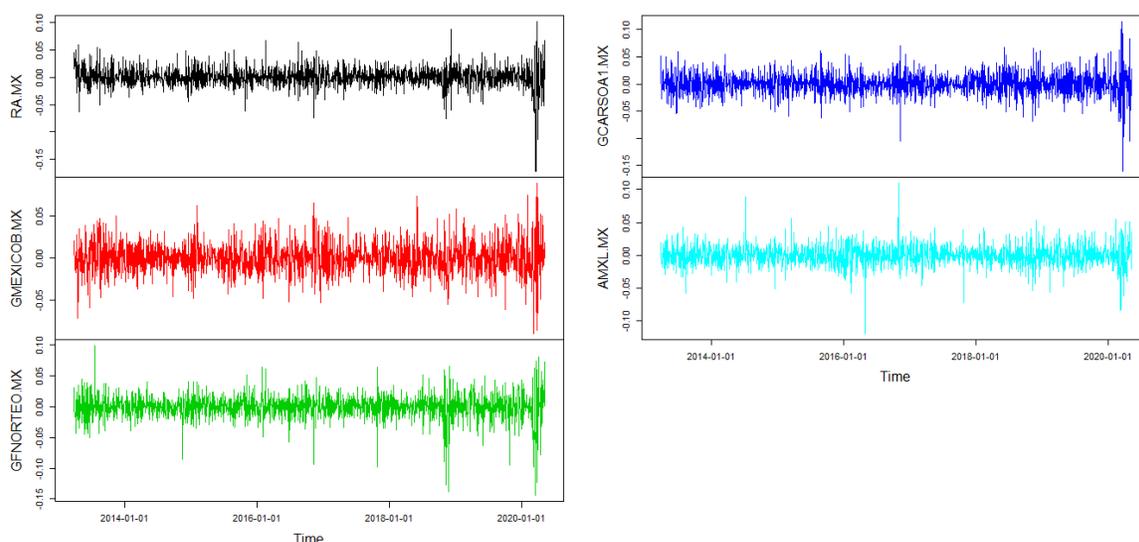


Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

Para el grupo 3 (ilustración 5.11) lo primero que se puede destacar es el impacto del Covid-19, donde las emisoras más afectadas en cuanto a rendimientos fueron RA.MX, GFNORTE.MX y GCARSOA1.MX, con rendimientos diarios negativos cercanos a -15%, por su parte, AMXL.MX presentó una volatilidad muy baja ante la pandemia, posiblemente porque pertenece al ramo de servicios de telecomunicaciones y dichos servicios se vieron beneficiados por el distanciamiento social aplicado por los gobiernos.

Por último, destacan los rendimientos negativos de GFNORTE.MX, en donde pareciera existir durante el periodo de 2017 A 2019 un componente estacionario; lo más interesante de este comportamiento es que para observaciones anteriores a 2017, no parece mostrar esa regularidad.

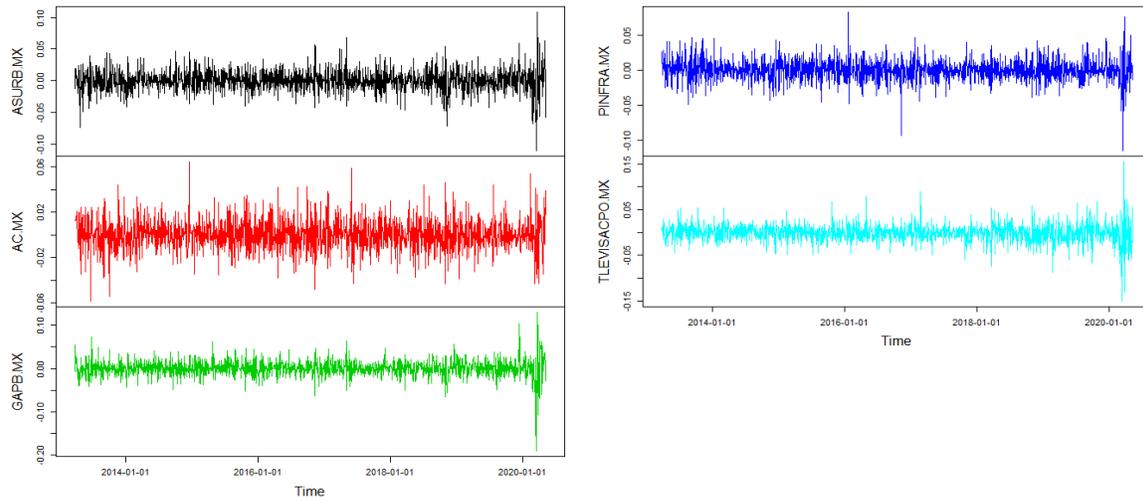
ILUSTRACIÓN 5.11 SERIES DE TIEMPO DE LOS RENDIMIENTOS DIARIOS DE LAS EMPRESAS SELECCIONADAS (GRUPO 3) DESDE 2013.03-2020.04



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

Para el grupo 4, la ilustración 5.12 muestra también el efecto del Covid-19, aunque no es homogéneo y se observa que la emisora más afectada es GAP.MX con un rango que va de -20% a +10%, seguido curiosamente por TLEVISACPO.MX, con un rango de $\pm 15\%$, a pesar de que su actividad se enfoca en los servicios de entretenimiento. Por su parte, AC.MX mostró un rango de $\pm 6\%$ en épocas de Covid-19, mostrando que esta empresa embotelladora tuvo un efecto menor en términos del rendimiento de sus acciones.

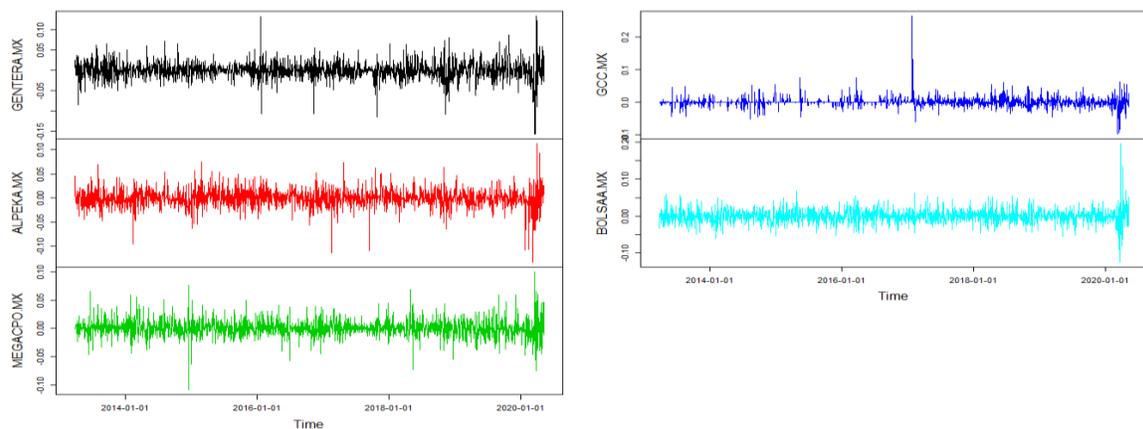
ILUSTRACIÓN 5.12 SERIE DE TIEMPO DE RENDIMIENTOS DIARIOS DE LAS EMPRESAS SELECCIONADAS (GRUPO 4) DESDE 2013.03-2020.04



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

Finalmente, el grupo 5 con la ilustración 5.13, muestra que ALPEKA.MX y GCC.MX presentaron rendimientos más negativos en tiempos de Covid-19. Por otro lado, el incremento anormal de BOLSAA.MX con un rendimiento máximo cercano a 20% en un día es interesante, ya que se dio por la percepción de mayor actividad de trading en las bolsas, lo que generaría mayores ingresos para la empresa. Otro dato anormal que salta a la vista es el de GCC.MX en 2017, debido a la venta de acciones comunes dicha empresa y que estaban en manos de CEMEX⁸⁵, dando un rendimiento diario de 20% en un día. Por último, destaca el comportamiento estacionario de GENTERA.MX a partir de 2016.

ILUSTRACIÓN 5.13 SERIE DE TIEMPO DE RENDIMIENTOS DIARIOS DE LAS EMPRESAS SELECCIONADAS (GRUPO 5) DESDE 2013.03-2020.04



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

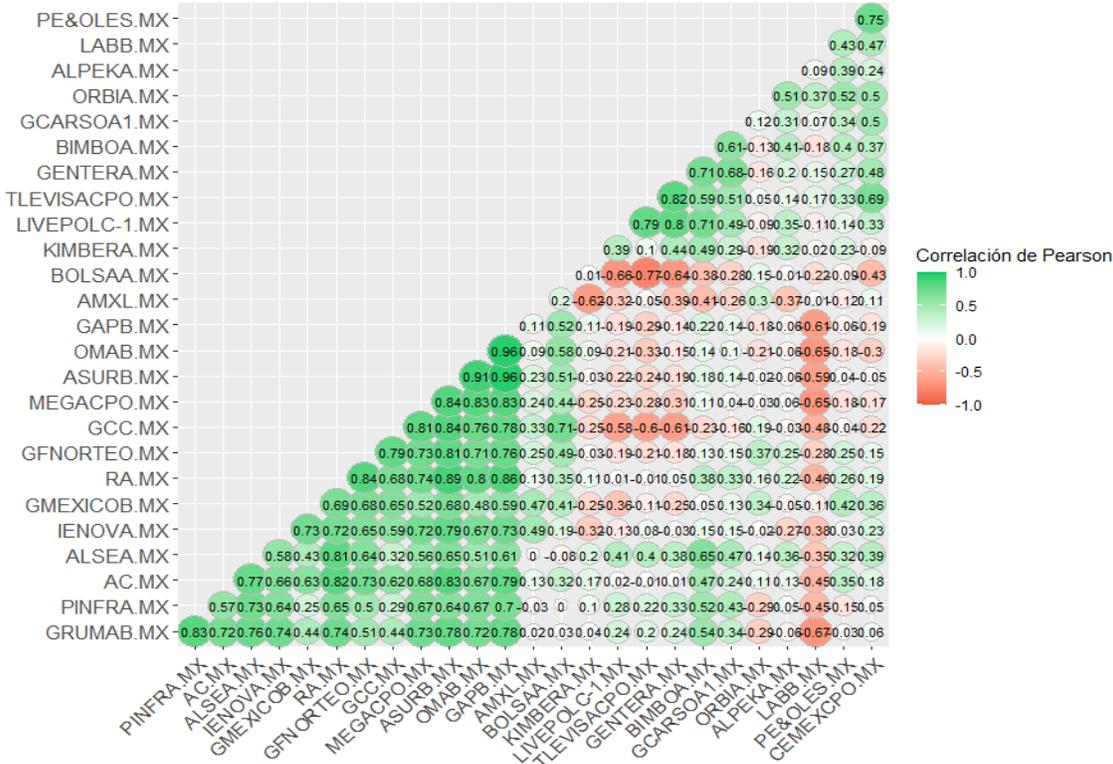
⁸⁵ Véase <https://www.realestatemarket.com.mx/noticias/infraestructura-y-construccion/20824-ofertara-cemex-su-participacion-en-grupo-cementos-de-chihuahua>

Después de observar la distribución de los rendimientos y su evolución en el tiempo, se calculará la correlación de Pearson de cada acción, para buscar el grado de dependencia lineal de las acciones entre sí a lo largo de la muestra y conocer cuáles son más dependientes entre sí y cuáles no, ya sea de manera negativa o positiva.

La ilustración 5.14 muestra el resultado de este cálculo mediante una matriz donde el color verde indica una correlación positiva y el color rojo una correlación negativa. Se logra apreciar en primera instancia la enorme abundancia de correlaciones positivas entre todas las acciones, además de que se puede observar que las correlaciones positivas más altas son OMAB.MX con GAPB.MX y ASURB.MX con GAPB.MX ambos con (0.96), lo cual hace sentido, ya que estas empresas se dedican a los servicios aeroportuarios; por su parte la correlación más negativa se da entre BOLSAA.MX y TLEVISACPO.MX con (-0.77).

Además de lo anterior, se puede destacar la poca correlación positiva de LABB.MX con la gran mayoría de las acciones, donde su correlación más alta es con Peñoles (0.52), lo que quiere decir que cuando Peñoles sube LABB.MX también sube, pero con una proporción del 52% respecto a la minera; por otra parte, la correlación más negativa es con GRUMAB.MX (-0.67), lo que quiere decir que mientras GRUMAB.MX sube, LABB.MX baja con una proporción de 67% respecto a GRUMAB.MX.

ILUSTRACIÓN 5.14 MATRIZ DE CORRELACIONES DE LAS EMPRESAS SELECCIONADAS CON DATOS DESDE 2013.03-2020.04



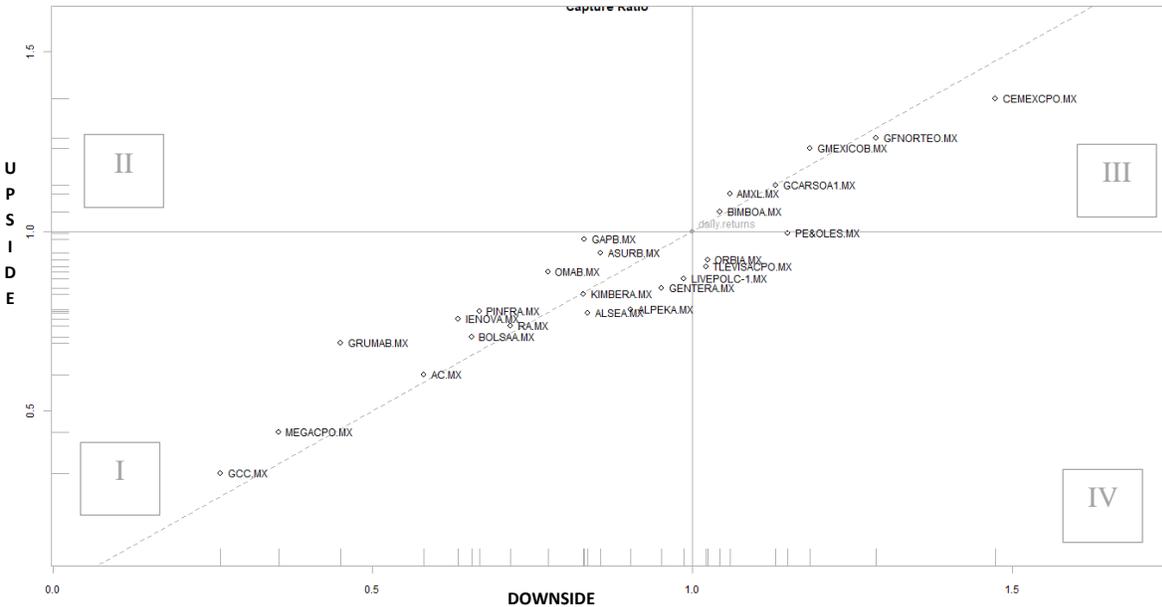
Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

El siguiente paso para analizar fue calcular el *Capture Ratio* de todas las acciones seleccionadas, con el objetivo de ver cuáles suben más ante períodos de rendimientos positivos y cuáles bajan más en épocas de rendimientos negativos. La ilustración 5.15 permite visualizar este cálculo, donde en el centro (coordenadas 0,0) se encuentra el IPC (el *benchmark*), el eje de las ordenadas corresponde al *Upside Ratio* (UR) y el eje de las abscisas corresponde al *Downside Ratio* (DR).

Se observa que CEMEXCPO.MX posee el UR más alto con un valor cercano a 1.5 pero también posee un DR cercano a 1.5; esto quiere decir que cuando el mercado sube, CEMEXCPO.MX sube 50% más que el mercado, mientras que cuando el mercado baja, CEMEXCPO.MX baja 50% más que el *benchmark*.

Por su parte, la mejor zona de UP es la zona II, donde no se encuentra ninguna acción, mientras que para el caso de DR, la mejor zona es la IV, en la que se encuentran TLEVISACPO.MX y ORBIA.MX y rozando el área III y IV se encuentra Peñoles. Del conjunto de acciones seleccionadas, se nota una concentración en el área I, donde las mejores empresas son las que están por arriba del *benchmark* y más cercanas a 0 para el DR.

ILUSTRACIÓN 5.15 CAPTURE RATIO DE LAS EMPRESAS SELECCIONADAS DESDE 2013.03-2020.04



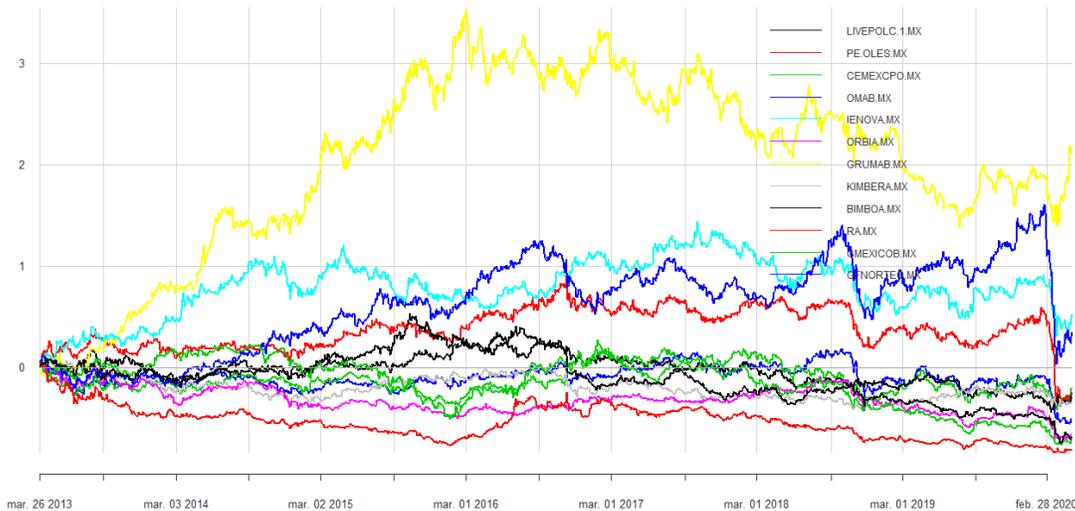
Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

Después de observar el desempeño de las acciones ante un mercado alcista y bajista, se calculó el rendimiento acumulado total de todas las acciones y se compararon entre sí, para saber en un punto fijo en el tiempo (en este caso, el 26 de marzo de 2013) que se hubieran comprado las acciones, cuanto rendimiento acumulado se hubiera obtenido al último día que tenga la base de datos (en este caso el 30 de abril de 2020). Este rendimiento acumulado incluye cualquier aumento de precios, los dividendos y los intereses de la inversión ganada.

La ilustración 5.16 muestra el rendimiento acumulado del grupo 1 de empresas, la primera emisora que sobresale es GRUMAB.MX, la cual tiene el mejor rendimiento acumulado de todo el grupo 1, obteniendo un valor ligeramente superior a 3 veces la inversión inicial, destaca también que el rendimiento máximo alcanzado fue en marzo de 2016, fecha a partir de la cual el rendimiento comenzó a caer, llegando a observar niveles de 2015. Resalta también la dificultad que tuvo dicho rendimiento de rebasar el valor de 2 veces la inversión inicial durante los primeros meses de 2020. A finales de marzo de 2020, la gran mayoría de las empresas del grupo 1 tienden a mostrar un comportamiento al alza.

Por su parte, Peñoles tuvo el peor comportamiento del grupo 1; dicha acción tuvo un rendimiento que tendió a la baja desde inicios de 2017 y no ha podido recuperarse.

ILUSTRACIÓN 5.16 RENDIMIENTOS ACUMULADOS DEL GRUPO 1 CON DATOS DESDE 2013.03-2020.04

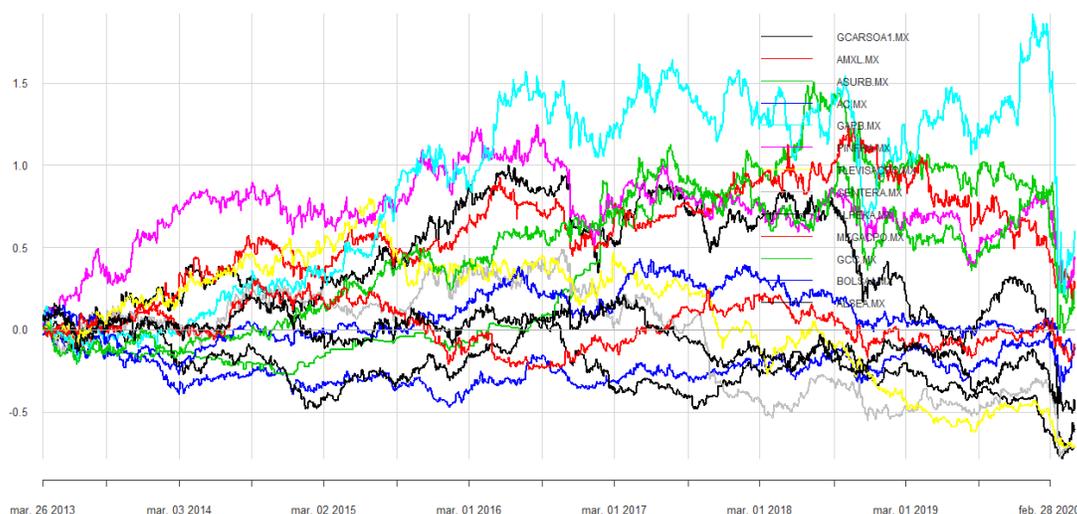


Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance. Cifras en porcentaje de veces sobre la inversión inicial.

Para el grupo 2, en la ilustración 5.17, llama la atención el rendimiento de GAPB.MX, llegando a un máximo de 1.8 veces la inversión inicial a inicios de 2020, aunque fue la empresa que bajó más su rendimiento durante la época de Covid-19 en el grupo 2.

Las empresas con peor desempeño fueron GENTERA.MX, ALPEKA.MX y TLEVISACPO.MX, con rendimientos acumulados negativos a partir de 2017 mientras que, los mejores rendimientos acumulados se observan en GAPB.MX, PINFRA.MX y MEGACPO.MX.

ILUSTRACIÓN 5.17 RENDIMIENTOS ACUMUALDOS DEL GRUPO 2 CON DATOS DESDE 2013.03-2020.04



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance Cifras en porcentaje de veces sobre la inversión inicial.

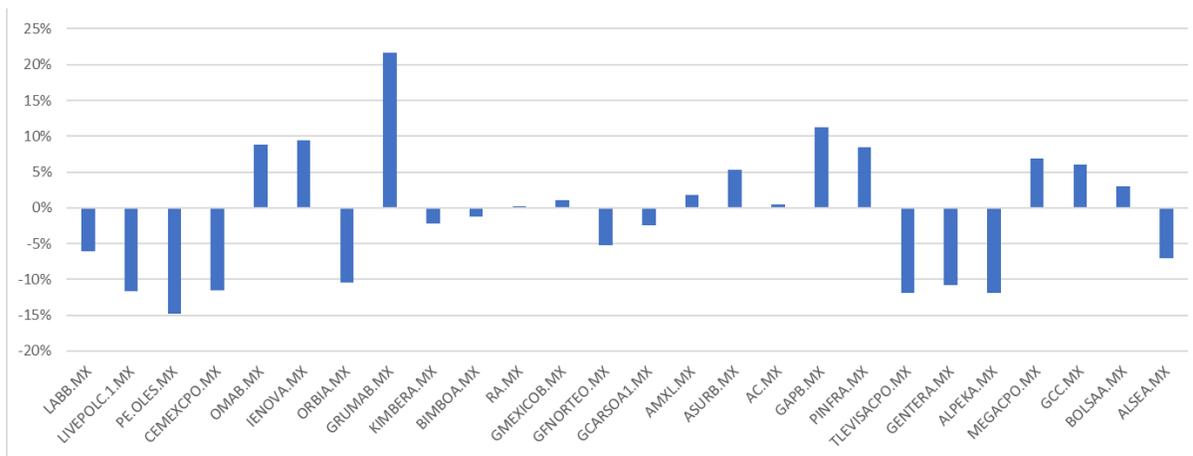
El rendimiento total acumulado es una estimación rápida del porcentaje de retorno que una inversión ha generado durante un período. Al considerar este cálculo durante largos períodos, por ejemplo, diez años o más, no se incorpora un aspecto en el cálculo: el valor monetario, el cual cambia con el tiempo.

Por esto, para medir los rendimientos, se utilizó la tasa compuesta de crecimiento anual (CAGR)⁸⁶.

Se observa en la ilustración 5.18 que el CAGR más alto fue GRUMAB.MX con una tasa anual del 22% crecimiento en 7 años, mientras que, el 46% de las acciones muestran un CAGR positivo, lo cual se debe destacar debido a que la fecha de corte fue el 29 de abril de 2020, ya que se incluye el efecto del Covid-19. El CAGR más bajo fue para Peñoles (-15%), seguido por Liverpool, CEMEX y Televisa con -12%.

⁸⁶ Véase <https://www.investopedia.com/terms/c/cagr.asp>

ILUSTRACIÓN 5.18 CAGR (COMPOUND ANNUAL GROWTH RATE) POR EMPRESA DEL 2013.03-2020.04



Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

5.2 Portafolio de inversión

En esta sección se estimó el Portafolio de Mínima Varianza, el Portafolio Máximo de Sharpe y el Portafolio Óptimo Rebalanceado.

Para la construcción del modelo de portafolio se siguieron los siguientes pasos:

1. Se creó una lista de los *tickers* (claves de pizarra) que se quieren descargar, utilizando las comillas en inicio y final del *ticker* y separadas por comas.
2. Se creó un objeto donde se guardaron los precios de los activos, dentro de este objeto se declara la función de buscar los *tickers* en yahoo finance, dentro de esta función se declara la fecha de inicio y fin para tomar los precios de cierre.
3. Se aplicó el comando *summary*, el cual nos muestra el precio mayor, menor, los momentos de cada acción y los valores vacíos de cada acción (Nas)
- 4.- Se eliminaron todos los valores que sean Nas en la base de datos
- 5.- Se renombraron las columnas por el nombre del ticker.
- 6.- Se calcularon los rendimientos diarios y se guardaron en un nuevo objeto.

Con estos pasos, se obtuvo una base de rendimientos homogénea, donde todas las acciones tienen el mismo número de elementos y cada uno tiene su precio y rendimiento diario. Después de seguir estos pasos se observa que el número de datos se reduce.

5.2.1 Portafolio de Mínima Varianza

Se define como Portafolio de Mínima Varianza a la combinación de activos con el mínimo riesgo posible para un determinado nivel de rendimiento, en otras palabras, no hay otro portafolio posible para ese determinado nivel de rendimiento que pueda tener un riesgo menor.

Para lograr ello, se plantea el siguiente problema:

$$\text{Minimizar } W^T \Omega W \quad (2.24)$$

Sujeto a

$$W^T \mathbf{1}_n = 1 \quad (2.17)$$

$$w \geq 0_n \quad (2.31)$$

Para el cálculo de este portafolio, se creó un primer “objeto” llamado “*init.portf.minvar*”, el cual almacena las restricciones antes mencionadas y resuelve el problema 2.24 con la función llamada “*optimize.portfolio*”.

El software busca la combinación de activos que minimiza el riesgo sujeto a que no haya ventas en corto (2.31) y que la suma de las ponderaciones debe ser 1.

Los resultados obtenidos se visualizan en la ilustración 5.19.

Se observa que las acciones con más ponderación son GCC.MX (19.82%) y AC.MX (16.8%), también destaca que este portafolio está constituido por 15 acciones y que existen ponderaciones muy bajas como por ejemplo Peñoles (0.28%). Resalta la gran participación de GCC.MX en el portafolio, ya que en los últimos años el sector de la construcción ha gozado de una época de bonanza y GCC.MX es una de las empresas más importantes de materiales de la construcción en este país.

La gran caída de las acciones y el *benchmark* desde marzo de 2020 generó rendimientos mínimos históricos en el último tramo de la muestra (abril de 2020), lo que ocasionó que el modelo de optimización tuviera mayor dificultad a la hora de encontrar una solución óptima.

ILUSTRACIÓN 5.19 PONDERACIÓN DEL PORTAFOLIO DE MÍNIMA VARIANZA

GCC.MX	AC.MX	MEGACPO.MX	GRUMAB.MX	PINFRA.MX	AMXL.MX	IENOVA.MX
19.82%	16.80%	14.89%	11.02%	5.86%	5.49%	5.05%
ASURB.MX	KIMBERA.MX	ALPEKA.MX	RA.MX	BOLSAA.MX	TLEVISACPO.MX	LABB.MX
4.99%	3.72%	3.59%	2.28%	3.25%	1.50%	1.45%
PE&OLES.MX	GCARSOA1.MX	BIMBOA.MX	GAPB.MX	GFNORTEO.MX	ORBIA.MX	GENTERA.MX
0.28%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
LIVEPOLC-1.MX	CEMEXCPO.MX	GMEXICOB.MX	ALSEA.MX	OMAB.MX		
0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		

Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

5.2.2 Portafolio Máximo de Sharpe

Para poder estimar este portafolio, se creó un nuevo objeto llamado “*init.portf.maxsharpe*”, donde se almacenaron las siguientes restricciones:

$$\text{Maximizar } \theta = \frac{\bar{R}_p - R_f}{\sigma_p} \quad (2.46)$$

Sujeto a:

$$0.99 < \sum_{i=1}^n w_i < 1.01 \quad (5.1)$$

$$w \geq 0_n \quad (2.31)$$

Es necesario ingresar 2 funciones objetivos, el primero es sobre el riesgo medido a través de la desviación estándar y la segunda es el rendimiento medido a través de la media aritmética; al introducir estas 2 funciones se calcula la razón de Sharpe y a la hora de estimar el portafolio óptimo, la función “*optimize.portfolio*” se debe agregar la opción “*maxSR=TRUE*”, con lo que le pedimos al programa que optimice el portafolio mediante la razón de Sharpe.

La fórmula 5.1 es diferente a la fórmula 2.47 debido a que la suma de las ponderaciones de las acciones no suma 1, esto se decidió modificar debido a que la computadora no logro encontrar una solución óptima con suma de ponderaciones 1, la misma computadora te pide “relajar” los supuestos del modelo, esto se debe a que la tasa libre de riesgo es muy alta y castiga mucho a los activos cuando calcula la razón de Sharpe; por lo que al pedirle a la computadora que las ponderaciones oscilen entre 0.99 y 1.01, la computadora encuentra una solución “*sub-optima*”.

Los resultados obtenidos, que se muestran en la ilustración 5.20, indican que GCC.MX (14.59%) y GRUMAB.MX (49.69%) son las empresas con mayor ponderación en este portafolio, el cual contiene 6 activos, a comparación del portafolio de Mínima Varianza; se observa aumento en la ponderación de IENOVA.MX (pasó de 5.05% a 10.20%), GAPB.MX(pasó de 0% a 8.65%), por su parte la disminución de LABB.MX(paso de 1.45% a 0%), KIMBERA.MX(de 3.72% a 0%), RA.MX(de 2.28% a 0%), AMXL.MX(de 5.49% a 0%), ASURB.MX(4.99% a 0%), AC.MX(de 16.80% a 0%), TLEVISACPO.MX(de 1.5% a 0%), ALPEKA.MX(de 3.59% a 0%)BOLSAA.MX(de 3.25% a 0%) y ALSEA.MX(de 1.05% a 0%).

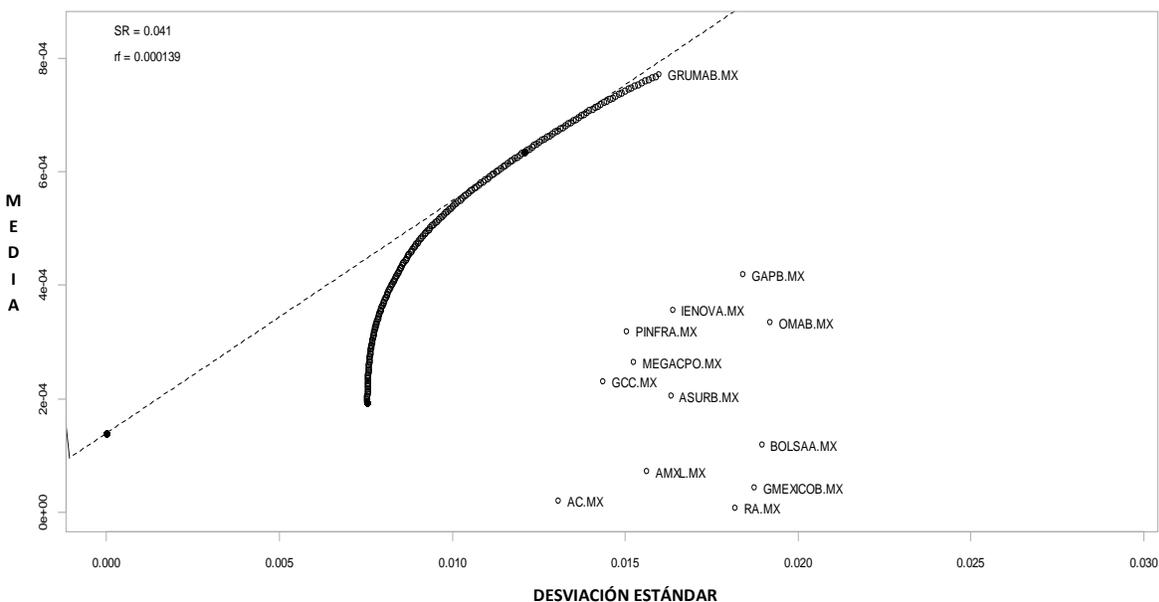
ILUSTRACIÓN 5.20 PONDERACIONES DEL PORTAFOLIO MÁXIMO DE SHARPE

GRUMAB.MX	GCC.MX	IENOVA.MX	MEGACPO.MX	GAPB.MX	PINFRA.MX	ORBIA.MX
49.69%	14.59%	10.20%	8.94%	8.65%	7.94%	0.00%
LABB.MX	KIMBERA.MX	BIMBOA.MX	RA.MX	GMEXICOB.MX	GFNORTEO.MX	GCARSOA1.MX
0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
AMXL.MX	ASURB.MX	AC.MX	CEMEXCPO.MX	OMAB.MX	TLEVISACPO.MX	GENTERA.MX
0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
ALPEKA.MX	LIVEPOLC-1.MX	PE&OLES.MX	BOLSAA.MX	ALSEA.MX		
0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		

Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

En la ilustración 5.21 se observa la Frontera Eficiente calculada por el software con la función “*extractEfficientFrontier*”, y su respectiva gráfica se obtuvo con la función “*chart.EfficientFrontier*”. Se observa que el activo con mayor rendimiento diario es GRUMAB.MX; la línea punteada que se observa corresponde a la CML (*Capital Market Line*) donde su origen es la tasa libre de riesgo. Se debe aclarar que en el eje de los rendimientos (*mean*) son rendimientos diarios, por lo que la tasa libre de riesgo (la tasa que se escogió para esta ocasión fue el bono M a 5 años⁸⁷) se dividió entre 360 para obtener la tasa diaria, como se comentó.

ILUSTRACIÓN 5.21 FRONTERA EFICIENTE



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

⁸⁷ De acuerdo a datos de la página “investing” la tasa del bono M a 5 años de México, a partir de marzo 2020, cayó rápidamente por lo que, se acordó que la tasa del bono oscilaría en un nivel cercano al 5% alrededor de todo el año 2020.

5.2.3 Portafolio con Rebalanceo-Dinámico

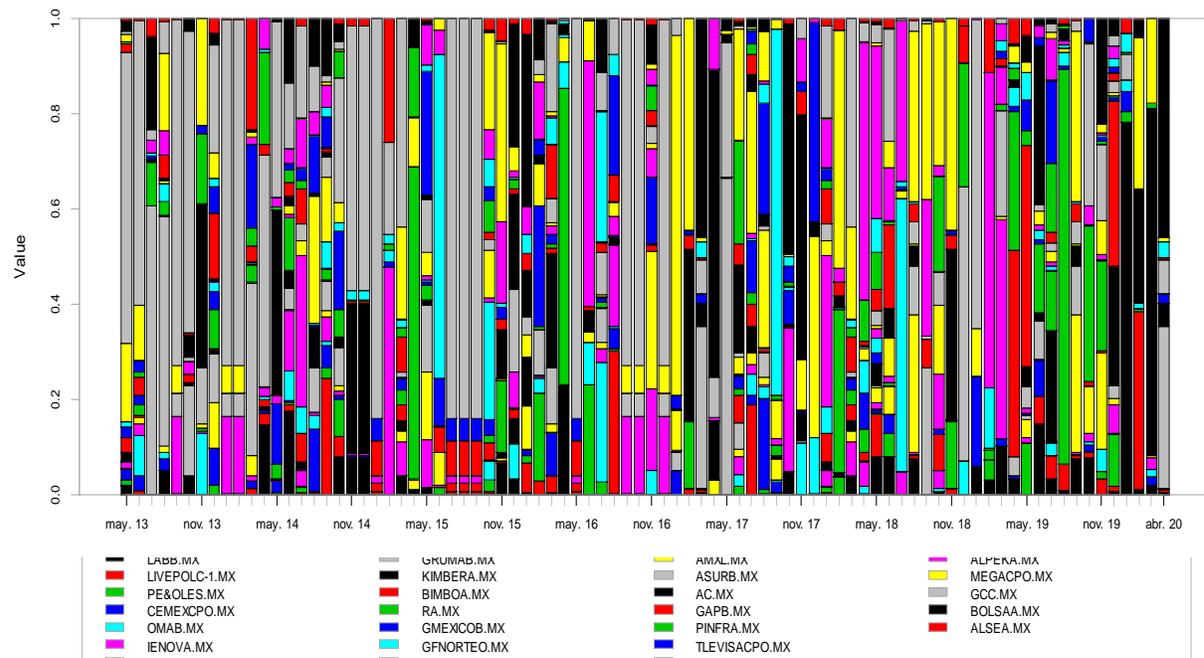
Para la obtención de este portafolio se requirió el uso en primer lugar de la función “*set.seed*” la cual nos permite generar números pseudoaleatorios y replicables permitiendo escoger la semilla (generador de números aleatorios); el siguiente paso es el uso de la función “*optimize.portfolio.rebalancing*”, la cual tiene como objetivo realizar la optimización de un portafolio con un rebalanceo periódico (períodos de tiempo específicos), en otras palabras, los anteriores portafolios permanecen estáticos en el tiempo (sus ponderaciones); en cambio, este método va recalculando las ponderaciones de acuerdo a una ventana móvil (*Rolling window*) y siempre sujeto a todo lo que tenga el objeto “*portfolio.spec*”, por lo que a lo largo de la historia se podrán observar las diferentes ponderaciones y conocer si las ponderaciones y acciones del portafolio estático son estables en el tiempo.

El portafolio que se utilizó fue el Portafolio Máximo de Sharpe; el programa consiste en resolver el problema 2.46, optimizando Sharpe cada mes (con la restricción de fórmula 5.1). La ilustración 5.22 permite observar de manera visual las diferentes ponderaciones del portafolio por mes.

Los resultados obtenidos señalan que GCC.MX, GAPB.MX, MEGACPO.MX, son las empresas que más aparecen ponderadas a lo largo de la muestra (más del 60% de las veces aparecieron). En cambio, las empresas que menos aparecieron fueron: CEMEXCPO.MX, BIMBOA.MX, OMAB.MX y GFNORTEO.MX (apareciendo menos del 40% de las veces a lo largo de la muestra).

Los resultados más sobresalientes fueron los relacionados al periodo Covid-19 donde las ponderaciones en los primeros meses de 2020 fueron: En enero de 2020 el portafolio se compuso de LABB.MX (78.2%), ASURB.MX (5.2%), CEMEXCPO.MX (4.4%) y GENTERA.MX (4.0%), principalmente (las demás emisoras obtuvieron ponderaciones por debajo del 3% cada una); para el caso de febrero de 2020 se compuso de la siguiente manera: LIVEPOLC-1.MX (37.4%), MEGACPO.MX (31.8%), AC.MX (24.0%) y BOLSAA.MX (3.8%), principalmente (las demás emisoras obtuvieron ponderaciones inferiores al 3%); para el caso de marzo de 2020 se tuvo: AC.MX (72.8%) y MEGACPO.MX (17.8%); y finalmente en abril de 2020 se obtuvo: BOLSAA.MX (46.0%), GRUMAB.MX (34.0%), ASURB.MX (7.2%), KIMBERA.MX (4.8%) y GENTERA.MX (3.4%), las demás compañías obtuvieron ponderaciones inferiores al 3%.

ILUSTRACIÓN 5.22 PESOS REEBALANCEADOS EN EL TIEMPO



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

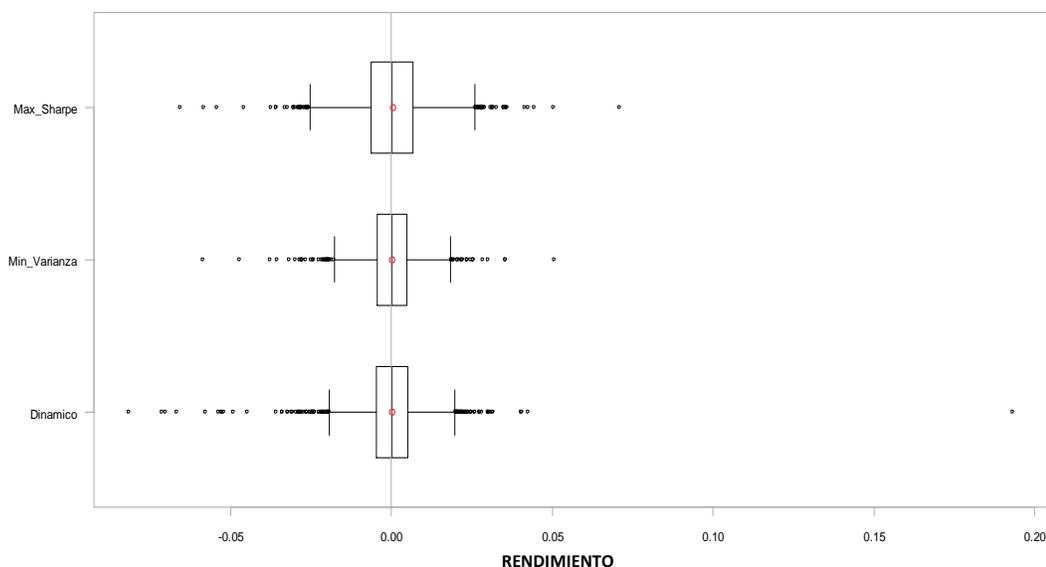
5.2.4 Performance

En este apartado se comparan el desempeño de los portafolios de Mínima Varianza, Máximo de Sharpe y Dinámico, de manera individual como en comparación con el *benchmark*. El primer paso consiste en comparar la distribución de los rendimientos de los diferentes portafolios, con el fin de conocer la distribución de los rendimientos y de la existencia de valores extremos (atípicos).

La ilustración 5.23 presenta los diagramas de caja de los 3 portafolios, la primera observación, es la existencia de datos atípicos en todos portafolios (puntos negros mayores en los bigotes), destacando que el portafolio dinámico posee el rendimiento negativo más grande y positivo más grande, lo que se traduce en un punto de alta importancia a la hora de calcular el VaR; por otro lado destaca la poca dispersión de los rendimientos del portafolio de Mínima Varianza (diagrama de caja más chico), lo que indica una alta concentración de rendimientos cercano a cero; en cambio la dispersión entre el Portafolio Máximo de Sharpe y el Portafolio Dinámico es muy similar (por el tamaño del diagrama de caja), donde el Portafolio de Sharpe posee una media ligeramente positiva (punto rojo), siendo una particularidad de este portafolio comparado con los otros 2.

Finalmente, la distribución de los rendimientos hasta el momento del análisis, parece indicar que no se comportan con una distribución normal, debido a que existen múltiples observaciones atípicas y que al menos el 50% de los datos están concentrados en valores cercanos a 0, lo cual indica un problema de curtosis.

ILUSTRACIÓN 5.23 COMPARATIVA DE LAS DISTRIBUCIONES DE LOS DIFERENTES PORTAFOLIOS



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

Para el caso del desempeño de los portafolios (revisar ilustración 5.24) se obtuvo que el Portafolio Máximo de Sharpe es el de mayor rendimiento acumulado⁸⁸ llegando a niveles cercanos del 200% de la inversión inicial, lo cual refleja un buen desempeño del portafolio; por otro lado, el Portafolio de Mínima Varianza obtuvo mejor rendimiento acumulado que el IPC (*benchmark*), llegando a un rendimiento máximo cercano al 100% de la inversión inicial a finales de 2018, donde a partir de esa fecha empezó una disminución del rendimiento acumulado que duró hasta el final de la muestra.

En cambio, el comportamiento del rendimiento acumulado del Portafolio Dinámico desde 2013 hasta marzo de 2017 presentó una tendencia a la alza hasta alcanzar un rendimiento acumulado máximo de 1.73 veces la inversión inicial, pero después de dicha fecha el portafolio estuvo perturbado por situaciones económicas (como la guerra comercial de USA-China, la renegociación del TLCAN y año electoral para México), que influyeron en las finanzas de las empresas que conforman el IPC y su desempeño; de las 35 emisoras del IPC, sólo el 25% cerraron el año con un desempeño positivo, además de que al haber sido un año de mal desempeño en la bolsa, la recaudación proveniente de las emisoras bursátiles aumentó y rompió récord del año 2017.

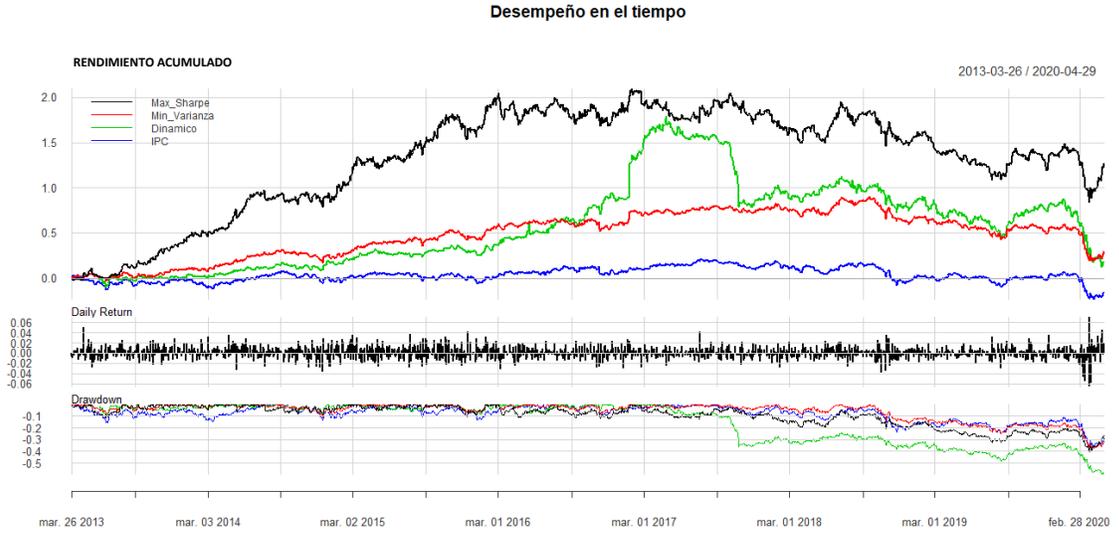
Esto ocasionó que el Portafolio Dinámico fuera más sensible a eventos corporativos y eventos económicos, debido a que al tratar de buscar optimizar el portafolio mes con mes y en un entorno de aumento de tasas (aumento de tasa libre de riesgo) junto con rendimientos

⁸⁸ Este rendimiento acumulado responde la pregunta si desde el primer día que invertí en el portafolio (26 de marzo de 2013) hasta 29 de abril, ¿Cuánto rendimiento obtuve si mi inversión hubiera sido constante?

de emisoras muy bajos, generó dificultades a la hora de encontrar un portafolio óptimo generando un descenso en el rendimiento acumulado del Portafolio Dinámico desde marzo de 2017 hasta el final de la muestra, destaca además que a partir de septiembre de 2017 el algoritmo comienza a simular la estrategia del Portafolio de Mínima Varianza, llegando a tener un rendimiento acumulado similar en marzo de 2020.

Por otro lado se obtuvo el *Drawdown*, donde se muestra que desde el inicio de los datos hasta el día 29 de abril de 2020, el portafolio que más pérdida tuvo fue el Portafolio Dinámico llegando a superar el 50% de pérdida generando una pérdida de atractivo frente a los otros portafolios; para el caso del Portafolio de Mínima Varianza se obtuvo un *drawdown* cercano al 26% desde julio de 2018 (su punto máximo) hasta el 29 de abril de 2020; finalmente el Portafolio Máximo de Sharpe obtuvo un *drawdown* de 24.8% ligeramente inferior al de Mínima Varianza, además de que fue el *drawdown* más corto con 314 días contra los 372 días del Portafolio de Mínima Varianza y 622 días del Portafolio Dinámico.

ILUSTRACIÓN 5.24 DESEMPEÑO DE LOS DIFERENTES PORTAFOLIOS VS BENCHMARK



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

Continuando con el performance, se estimó el modelo CAPM de los portafolios y se realizó una tabla resumen la cual corresponde a la ilustración 5.25; en primer lugar, el alpha de Jensen indica que en ningún portafolio nos da un rendimiento superior al *benchmark*, resultado que se debe a que el riesgo sistémico es mayor al riesgo real de los portafolios. Siguiendo la tabla, todas las betas son positivas y mayores a 0.5, lo cual nos indicaría que por cada variación del *benchmark*, los portafolios se mueven en un 50% de ese movimiento del mercado y en la misma dirección, lo cual ocasiona que dichos portafolios muestren

menor estabilidad; el portafolio con la beta más alta es el Portafolio Dinámico con 0.6536 y la menor beta corresponde al Portafolio de Mínima Varianza (0.592).

En el caso del coeficiente R^2 refleja el nivel de ajuste de la línea de regresión respecto a los datos, donde el Portafolio de Mínima Varianza obtuvo mejor ajuste con 51.57% mientras que el peor ajuste fue el Portafolio Máximo de Sharpe con 24.81%.

Por su parte, el *Tracking Error* de los 3 portafolios fue positivos y mayor a 0.18, indicando que los portafolios superan al *benchmark* en términos de rendimiento por unidad de riesgo lo cual se traduce en un buen desempeño; sin embargo, el Portafolio Dinámico fue el más riesgoso debido a que el tracking error fue el más alto (23.62%), en cambio el Portafolio de Mínima Varianza obtuvo el tracking error más bajo (19%), lo cual indica que es el portafolio más cercano al *benchmark*. Una medida muy similar es el Active premium, lo cual es el rendimiento anualizado de cada portafolio menos el rendimiento anualizado del *benchmark*, donde el Portafolio Máximo de Sharpe fue el de mayor active premium con 0.1429, su lectura indica que dicho portafolio nos da un premio de 14.29% más que el mercado, en cambio el Portafolio Dinámico obtuvo el active premium más bajo con un 3.6% más que el mercado.

Para el caso del *Information Ratio* (IR), el Portafolio Máximo de Sharpe obtuvo un 0.6204, mientras que el Portafolio Dinámico fue el de menor IR con 0.1547, esto nos indica que el portafolio Máximo de Sharpe dio un mayor rendimiento por el riesgo adicional de invertir en ese portafolio.

Por su parte la razón de Treynor; requiere para su estimación la beta del portafolio, por lo que asume que el único riesgo relevante es el riesgo sistémico (efecto de la diversificación); derivado de lo anterior, el Portafolio Máximo de Sharpe (0.1414) fue el portafolio con mayor razón de Treynor, mientras que el Portafolio Dinámico posee un Treynor negativo (-0.0178), situación generada por el nivel de la tasa libre de riesgo.

En el caso de la razón de Sharpe, el Portafolio Máximo de Sharpe fue el portafolio con el indicador más alto (3.37%), mientras que el Portafolio Dinámico obtuvo la razón de Sharpe más baja (0.02%).

Finalmente se presenta el *Up Capture*, en el cual todos los valores fueron positivos e indican que, en mercados alcistas, todos los portafolios se comportaron al alza, pero el Portafolio Dinámico sube 66.95% de lo que sube el índice de referencia, situándose como el portafolio con mayor *Up Capture*, en cambio el portafolio con menor *UP Capture* fue el Portafolio de Mínima Varianza (61.13%). Para el caso del *Down Capture* se obtuvo que todos los valores son positivos; el Portafolio Dinámico fue el que más baja con un 62.37% del total de la baja del mercado y el portafolio que menos baja fue el portafolio Máximo de Sharpe (50.21%).

Como conclusión del performance presentado, el Portafolio Máximo de Sharpe obtuvo un mejor performance en conjunto, ya que dio un mayor rendimiento por unidad de riesgo que el *benchmark* y mostró mayor equilibrio cuando el *benchmark* sube y baja (*Up Capture*, *Down Capture*); por su parte, el Portafolio Dinámico obtuvo el peor performance en conjunto, debido a que presentó un rendimiento que no compensa los riesgos asumidos y es más volátil ante los cambios del *benchmark*.

Por consiguiente, para la siguiente sección no se considera el Portafolio Dinámico.

ILUSTRACIÓN 5.25 RESUMEN DE PERFORMANCE POR PORTAFOLIO

Performance	Maximo de Sharpe	Minima Varianza	Dinamico
Alpha	0.0005	0.0001	0.0001
Beta	0.5942	0.5920	0.6536
R-squared	0.2481	0.5157	0.2932
Correlation	0.4981	0.7181	0.5927
Tracking error	0.2303	0.1900	0.2362
Active Premium	0.1429	0.0578	0.0366
Information Ratio	0.6204	0.3043	0.1547
Treynor Ratio	0.1414	0.0031	-0.0178
Sharpe Ratio	0.0337	0.0048	0.0002
Up Capture	0.6603	0.6113	0.6695
Down Capture	0.5021	0.5541	0.6237

Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

5.4 Cálculo del VaR y ES

Para el caso del VaR y el ES por simulación Monte Carlo, se simularon los rendimientos, por lo que fue necesario conocer qué tipo de distribución siguen los portafolios; generalmente en la práctica se asume que los portafolios siguen una distribución normal, pero como se ha visto a lo largo del presente trabajo no parece indicar que sigan dicha distribución, por lo que asumir una distribución normal, implicaría un sesgo en la estimación del VaR y ES.

Dicho lo anterior se decidió aplicar una prueba de ajuste de distribución a los portafolios de Mínima Varianza, Máximo de Sharpe y el *benchmark*; dicha prueba consistió en que a partir de diferentes distribuciones teóricas se probaron contra la distribución de los datos de los portafolios y así determinar cuál se ajusta mejor. Dicho método ocupa la estimación de máxima verosimilitud y las pruebas de Anderson Dearling y KS (kolmogorov-smirnov), lo que indica que tipo de distribución se ajusta mejor y con ello simular los rendimientos en base a esa distribución y tener un resultado más preciso.

Las ilustraciones 5.26, 5.27 y 5.28 muestran un resumen de las distribuciones probadas, su ajuste medido por las pruebas AD y KS, sus correspondientes p-values y los criterios AIC y BIS. El hecho de incorporar 2 pruebas de ajuste como son AD y KS, se debe a que la prueba KS por su estimación se centra en la asimetría y curtosis, pero pierde precisión cuando las distribuciones poseen colas anchas, por su parte la prueba AD es más potente y logra capturar mejor dichos problemas de colas; todo esto se deduce del paper de Razali y Wah⁸⁹.

Los resultados obtenidos por el software indican que los rendimientos de los 2 portafolios y el *benchmark*, siguen una distribución logística. Este resultado llamó la atención porque de acuerdo al paper de Valencia (2010)⁹⁰, los rendimientos de los activos financieros se pueden modelar con distribuciones Doble exponencial, T de Student y Pareto debido al problema de colas que presentan dichos activos. Este resultado pudo haber variado debido a que este es un portafolio de inversión y es el resultado de ponderaciones de varias empresas, lo cual posiblemente generó que se concentraran más entre ciertos valores y que existieran valores bastante atípicos (colas anchas) por lo que la prueba de ajuste de distribución escogió la distribución logística.

Se debe señalar que el Portafolio Máximo de Sharpe fue el más difícil de elegir qué distribución se ajustaba mejor, porque como se logra apreciar en la ilustración 5.26, la prueba KS no rechaza a la distribución logística y a la distribución Student, pero en este caso y como se planteó al inicio, la prueba AD ayudó a decidir junto con los criterios AIC y BIC que distribución se ajusta mejor, en este caso la distribución logística.

Por consiguiente, para la simulación Monte Carlo se simuló una distribución logística y una distribución normal con 10,000 datos entre -1 y 1, a efectos de mostrar las variaciones del VaR y el ES cuando asumimos distribuciones normales y cuando la ajustamos; la consecuencia de asumir normalidad en los rendimientos nos podría llevar a subestimar el riesgo, o una situación donde el VaR sea el mismo pero el ES de una distribución en específica sea mayor a la otra.

ILUSTRACIÓN 5.26 PRUEBAS DE AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN DEL PORTAFOLIO MÁXIMO DE SHARPE

Family	logL	AIC	BIC	Chisq(value)	Chisq(p)	AD(value)	H(AD)	KS(value)	H(KS)
Normal	-2760.08	5524.15	5535.12	70.78	0	5.87	rejected	0.04	rejected
Cauchy	-2923.68	5851.35	5862.32	317.53	0	17.31	rejected	0.07	rejected
Logistic	-2706.98	5417.96	5428.92	30.9	0.52	0.6	not rejected	0.02	not rejected
Uniform	NULL	NULL	NULL	Inf	0	Inf	NULL	0.1	rejected
Student	-2708.9	5419.8	5425.29	38.98	0.22	2.77	NULL	0.03	not rejected

⁸⁹ Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). "Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests". *Journal of statistical modeling and analytics*, 2(1), 21-33.

⁹⁰ Valencia, A. M. (2010). "Estimadores del índice de cola y el valor en riesgo", *Cuadernos de Administración*, 26(44), 71-88.

Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

ILUSTRACIÓN 5.27 PRUEBAS DE AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN DEL BENCHMARK

Family	logL	AIC	BIC	Chisq(value)	Chisq(p)	AD(value)	H(AD)	KS(value)	H(KS)
Normal	-2446.34	4896.69	4907.66	128.16	0	12.71	rejected	0.05	rejected
Cauchy	-2513.95	5031.91	5042.88	284.9	0	15.11	rejected	0.06	rejected
Logistic	-2345.99	4695.98	4706.95	46.31	0.05	1.28	rejected	0.02	not rejected
Uniform	NULL	NULL	NULL	Inf	0	Inf	NULL	0.11	rejected
Student	-2411.96	4825.92	4831.4	179.78	0	23.24	NULL	0.07	rejected

Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

ILUSTRACIÓN 5.28 PRUEBAS DE AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN DEL PORTAOFLIO DE MÍNIMA VARIANZA

Family	logL	AIC	BIC	Chisq(value)	Chisq(p)	AD(value)	H(AD)	KS(value)	H(KS)
Normal	-2102.77	4209.55	4220.51	65.46	0	7.52	rejected	0.04	rejected
Cauchy	-2237.87	4479.74	4490.71	360.95	0	19.69	rejected	0.07	rejected
Logistic	-2019.54	4043.08	4054.05	22.75	0.89	0.46	not rejected	0.01	not rejected
Uniform	NULL	NULL	NULL	Inf	0	Inf	NULL	0.1	rejected
Student	-2186.12	4374.24	4379.73	319	0	48.92	NULL	0.1	rejected

Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

Para la presentación de los resultados del modelo, se realizó una tabla resumen de las metodologías dividiéndolas en VAR y ES. Las ilustraciones 5.29 y 5.30 muestran lo anterior.

De acuerdo a lo obtenido en el software para el caso del VaR (ilustración 5.29) se encontró que, para el Portafolio Máximo de Sharpe, la pérdida máxima asociada a un nivel de confianza del 5% fue entre -3.4% y -1.63% del valor total del portafolio.

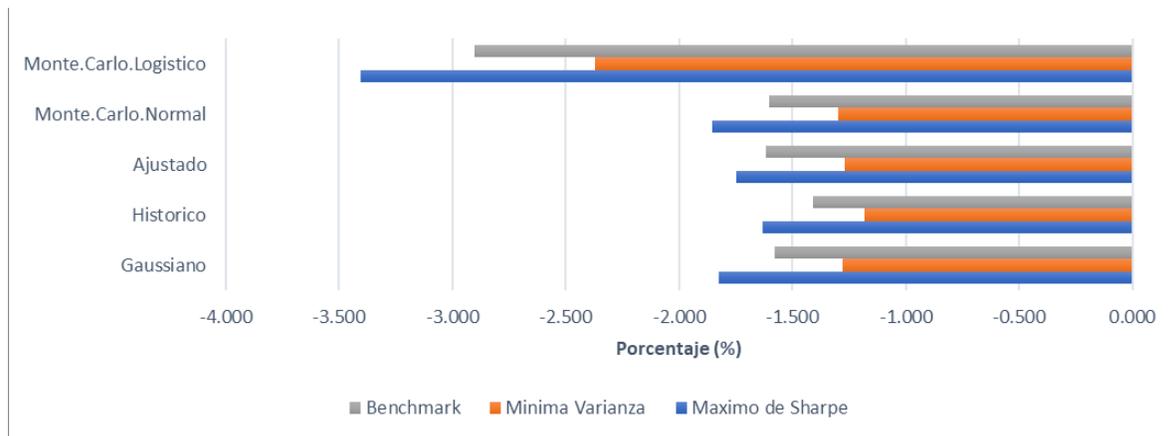
Además, la metodología Histórica es la que obtuvo menor VaR (-1.63%), mientras que la metodología de Simulación Monte Carlo con distribución logística fue la de mayor pérdida (-3.4%); la razón por la que esta última metodología obtuvo un valor más alejado del resto, fue debido a que la distribución logística posee colas más anchas y a la hora de estimar el VaR, este queda un poco más alejado que una distribución normal mostrando escenarios más extremos que todavía no pasan.

Para el caso del portafolio de Mínima Varianza se obtuvo un rango de VaR menor que el Portafolio Máximo de Sharpe, donde en sólo un día de cada 20, la pérdida máxima asociada a un nivel de significancia del 5% estaría en un rango de -2.371% y -1.183% del valor total del portafolio. Nuevamente, la Simulación Monte Carlo con distribución logística fue la metodología que más se aleja en sus resultados y la metodología Histórica fue la del VaR más bajo.

Para el caso del *benchmark* (IPC), el VaR histórico fue la metodología con el valor más conservador, mientras que la simulación Monte Carlo Logística fue la del valor más extremo; por lo tanto, el rango de pérdida máxima de un día de cada 20 con un nivel de

significancia del 5% bajo el escenario actual, el IPC estaría entre -2.901% y -1.41% del valor del índice.

ILUSTRACIÓN 5.29 RESUMEN DE METODOLOGÍAS DEL CÁLCULO DEL VaR POR PORTAFOLIO



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

La ilustración 5.30 resume los resultados obtenidos para la estimación del *Expected Shortfall* (ES) correspondiente a los portafolios de Máximo de Sharpe, de Mínima Varianza y el *benchmark* (IPC).

Para el Portafolio Máximo de Sharpe, la Simulación con Distribución Logística fue la del valor más agresivo mientras que la Simulación con Distribución Normal fue la del escenario más conservador; por lo tanto, el rango de la pérdida máxima esperada mayor al VaR queda entre -4.637% y -2.303% del valor del portafolio total dado el contexto actual, es decir que, en 1 de cada 20 días podríamos tener pérdidas entre 4.637% y 2.303% del valor total del portafolio.

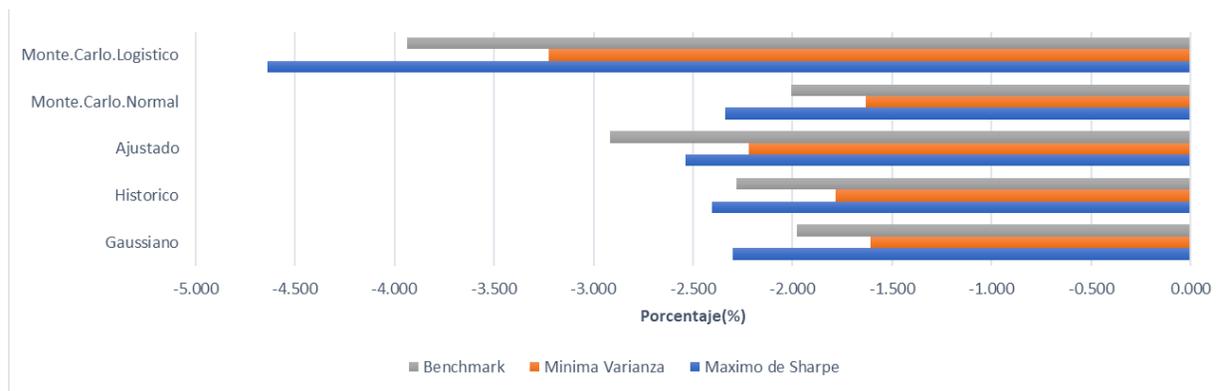
Por su parte, para el Portafolio de Mínima Varianza se obtuvo el mismo caso, donde el escenario más conservador pertenece al ES Simulado con una Distribución Normal y el valor más extremo fue el ES Simulado con Distribución Logística; por lo tanto, la pérdida máxima esperada por arriba del VAR se ubica entre -3.223% y -1.610% del valor total del portafolio bajo el contexto actual.

Finalmente, para el caso del ES del IPC, la pérdida máxima esperada está en un rango entre -3.935% y -1.978% del valor total del portafolio; esto quiere decir que en 1 de cada 20 días se espera tener una pérdida máxima esperada mayor al VAR entre el -3.935% y -1.978%.

Dicho lo anterior para el caso del ES se obtuvo que la metodología de Simulación Monte Carlo estuvo en 2 extremos de los rangos que se tiene, siendo la Simulación por Distribución Logística la que generó resultados más extremos; esto se debe a que, por construcción, la distribución logística posee mayor curtosis y colas más anchas que la

distribución normal, esto hace que al 95% de los datos, el ES sea mayor en la distribución logística que en la distribución normal.

ILUSTRACIÓN 5.30 RESUMEN DE METODOLOGÍAS DEL CÁLCULO DEL ES POR PORTAFOLIO

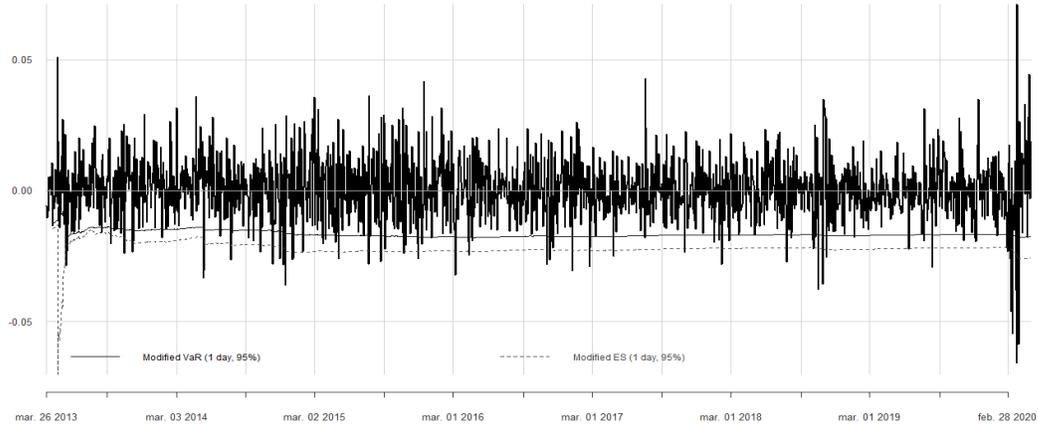


Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

Para demostrar la importancia de no asumir normalidad y del uso del ES, las ilustraciones 5.31, 5.32 y 5.33 muestran el VaR y el ES ajustados⁹¹ a la distribución de los datos de manera diaria, para el caso del Portafolio Máximo de Sharpe (ilustración 5.31), se aprecia que los valores más negativos se encuentran al final de la muestra (datos más recientes), por lo que realizar una simulación con datos que siguen una distribución logística no está tan fuera de la realidad dado el contexto económico que se vive. Para el caso del Portafolio de Mínima Varianza (ilustración 5.32), nuevamente se observa que los rendimientos más bajos ocurrieron al final de la serie (marzo y abril de 2020); y finalmente para el VaR y ES modificado del *benchmark*, se observa de manera más clara la diferencia entre VaR y el ES, donde algunas observaciones si son tomadas en cuenta para el ES y no para el VaR, por consiguiente, el *ES* es una medida de riesgo más apropiada que el VaR en épocas de alta volatilidad, porque como se justificó al inicio de este capítulo, el IPC sigue una distribución logística y no normal como se asume, lo que genera que el VaR deje de ser una medida coherente de riesgo. Por lo anterior, es necesario realizar una prueba de ajuste antes de calcular cualquier medida de riesgo; en el caso de que se hubiera asumido normalidad en los datos, para los meses de marzo y abril de 2020, se hubiera subestimado el riesgo de pérdida medido a través del VaR y por consecuencia las pérdidas hubieran sido muy altas.

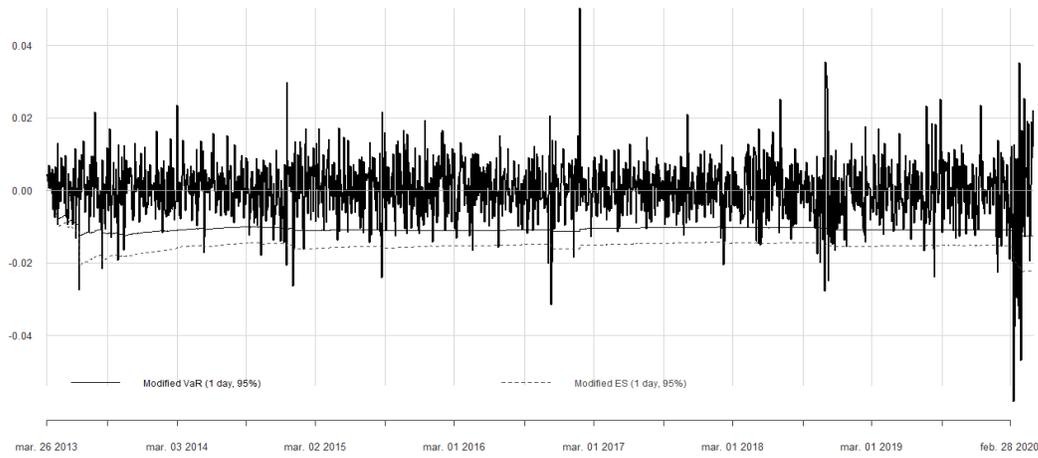
⁹¹ El software tiene la opción de generar el VaR y el ES ajustando la distribución de los datos, utilizando la Expansión de Cornish-Fisher, para mayores detalles de este método consulte: Holton, G. A., & Glyn, A. (2014), Value at Risk. Acad. Press y Mina, J., & Xiao, J. Y. (2001). Return to RiskMetrics: the evolution of a standard. RiskMetrics Group, 1, 1-11.

ILUSTRACIÓN 5.31 VaR vs. ES AJUSTADOS DEL PORTAFOLIO MÁXIMO DE SHARPE



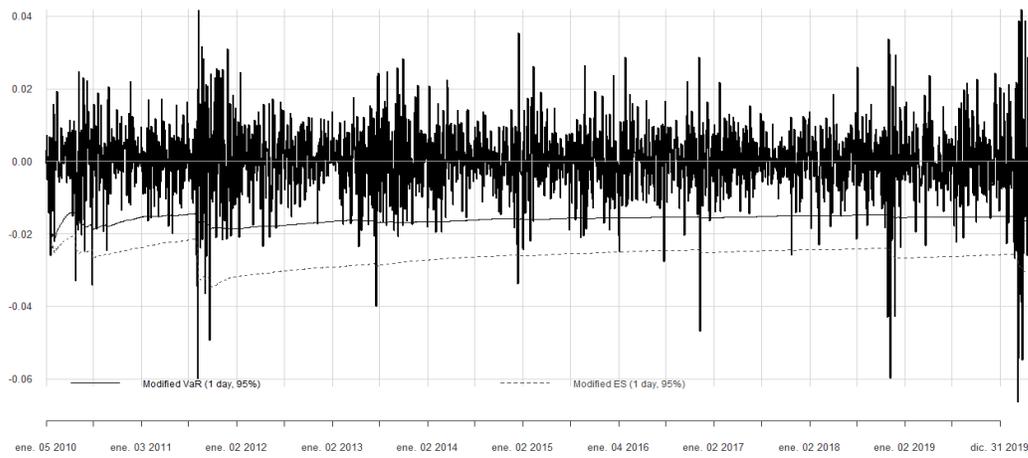
Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

ILUSTRACIÓN 5.32 VaR vs. ES AJUSTADOS DEL PORTAFOLIO MÍNIMA VARIANZA



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

ILUSTRACIÓN 5.33 VaR vs. ES AJUSTADOS DEL BENCHMARK



Fuente: Elaboración propia con datos de Yahoo Finance

Capítulo 6 Conclusiones

Podemos empezar diciendo que todas las empresas que conforman el IPC, tuvieron rendimientos negativos históricos (al menos en los últimos 7 años) afectados por la crisis del COVID y el cambio de modelo económico en México, lo que logró que en los meses de marzo y abril de 2020 los rendimientos fueran negativos y por ende al calcular los portafolios se vieran castigados; si a eso le añadimos que la tasa libre de riesgo fue muy alta en México durante ese periodo, se vuelve muy difícil la obtención de portafolios atractivos, este problema ocasionó que los portafolios Máximo de Sharpe y Dinámico tuvieran problemas para encontrar una solución óptima.

Sobre la selección de empresas, puede llegar a existir un problema; el hecho de poseer muchas empresas relacionadas entre sí (esto se ve en la matriz de correlaciones), genera una pérdida en la diversificación y desempeño del portafolio tal y como lo menciona Markowitz; una solución a este problema es establecer una regla en la matriz de correlaciones en donde a partir de cierto valor negativo o positivo (por ejemplo 0.5) escoger todas aquellas empresas que posean una correlación inferior a ese nivel (con lo que aseguramos de no tener activos fuertemente correlacionados entre sí), otra solución a este problema sería calcular el modelo CAPM para cada activo y escoger aquellas empresas que posean la beta absoluta más alta, con lo que se podría evitar introducir todas las empresas de la muestra; además disminuiríamos el tiempo y esfuerzo tecnológico que requiere la computadora para encontrar el portafolio óptimo.

Otro problema que se detecta es entorno a la manera en que se mide la volatilidad, como bien señalan autores como De Lara (2018)⁹², Jorion (2008)⁹³, Holton (2014)⁹⁴ y Christoffersen (2011)⁹⁵ principalmente; se puede usar algún modelo GARCH para modelar la volatilidad de los activos financieros; utilizando este tipo de modelos se puede modelar mejor la volatilidad en tiempos de crisis o alta volatilidad.

A pesar de estos inconvenientes el Portafolio Máximo de Sharpe logró tener un performance muy bueno; lamentablemente el Portafolio Dinámico no logró obtener un buen performance dada la dificultad del cálculo que involucra; también se debe señalar que este portafolio es muy sensible a eventos extremos debido a que el algoritmo al ingresar información nueva (al actualizarse el *Rolling Window*) e ingresar información extrema (una baja de rendimientos en todos los activos) genera cambios de activos y ponderaciones de manera muy radical, por lo que esta técnica sería mejor utilizarla como herramienta de *backtesting* y averiguar si las ponderaciones de los portafolios creados son estables en el tiempo.

⁹² De Lara A, *op. cit.*, pp. 85.

⁹³ Jorion, P., *op. cit.*, pp. 200-205.

⁹⁴ Holton, G. A., & Glyn, A., *op. cit.*

⁹⁵ Christoffersen, P., *op. cit.*, pp.65-88.

Sobre la hipótesis inicial, no es correcto suponer rendimientos con distribución normal en un contexto de incertidumbre financiera; además, se encontró un portafolio que ante este contexto se pudo optimizar y conseguir un performance positivo, aunque relajando un supuesto clave del planteamiento original (la suma de las ponderaciones de los activos debe ser igual 1).

Sobre el Valor en Riesgo (VaR) y el *Expected Shortfall* (ES), se mostró que al menos para este caso y con los datos desde 2013 a abril de 2020 los rendimientos de los portafolios creados y del IPC no siguieron una distribución normal, por lo que fue importante antes de calcular dichas medidas de riesgo hacer una prueba de ajuste de distribución.

Si bien el resultado de la prueba va en contra de lo comúnmente aceptado y choca con los resultados y conclusiones de trabajos como los de Medina (2003)⁹⁶, Ospina (2008)⁹⁷ y Bolaños (2010)⁹⁸, lo cierto es que estos trabajos no son comparables entre sí, primero en el período de tiempo seleccionado, segundo en los activos utilizados y tercero que asumen normalidad a la hora de calcular el VaR. Con lo anterior, no se tiene el objetivo de asegurar que a lo largo de la historia los rendimientos no se comporten de manera normal, simplemente que en este caso no fue así y los datos siguieron otra distribución. Se debe recordar que el VaR es una medida coherente de riesgo solo en las distribuciones normales y T, por lo que, en caso de tener una distribución diferente a esas, es preferible usar el ES.

El modelo de Simulación Monte Carlo con ajuste de distribución pese a que muestra resultados en apariencia muy irreales, logra capturar de mejor manera los valores extremos presentados en 2020. Si bien se considera que tanto el VaR como el ES son metodologías que muestran la potencial pérdida dada la volatilidad de los instrumentos, para su estimación es mejor utilizar la metodología de Simulación Monte Carlo con ajuste de distribución, porque logra mediante la simulación crear escenarios con rendimientos positivos y negativos que todavía no ocurren.

Un último punto a tomar en cuenta es el manejo de los datos atípicos a la hora de calcular el VaR y el ES, los cuales pueden alterar a los estimadores como la media aritmética y la desviación estándar (estimadores necesarios para el cálculo de las medidas de riesgo). Existen múltiples métodos estadísticos que buscan producir estimadores robustos, en otras palabras, estimadores que no sean afectados por valores atípicos. El uso de estimadores robustos⁹⁹ puede ayudar a conseguir mejores medidas de riesgo (VaR y ES principalmente) que no se vean afectadas por valores atípicos en la muestra, con ello se puede ganar precisión en las métricas.

⁹⁶ Medina, L.Á., *op. cit.*

⁹⁷ Ospina, V., *op. cit.*

⁹⁸ Bolaños, M., Emmanuel, *op. cit.*

⁹⁹ Véase Maronna y Yohai, (2006), *Robust Statistics: Theory and Methods*. Wiley.

Referencias

1. Acerbi, C., & Tasche, D. (2002). Expected shortfall: a natural coherent alternative to value at risk. *Economic notes*, 31(2), 379-388.
2. Aragonés, J., Blanco C., (2000). Valor en Riesgo aplicación a la gestión empresarial. Ed. Pirámide.
3. Arbeláez, L. C. F., & Ceballos, L. E. F. (2005). El Valor en Riesgo condicional CVaR como medida coherente de riesgo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 4(6), 43-54.
4. Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J. M., & Heath, D. (1999). Coherent measures of risk. *Mathematical finance*, 9(3), 203-228.
5. Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J. M., & Heath, D. (1997). Thinking coherently. *RISK*, 10. November, 68, 71.
6. Bejarano B. Katherine, Díaz G. Carlos M, Lozano Riaño V. (2013), Teoría de Markowitz con metodología EWMA para la toma de decisión sobre cómo invertir su dinero. *Revista Atlántica de Economía Volumen 1*.
7. Bolaños, M., Emmanuel, (2010). Diseño de Software para el cálculo del VaR. Tesis Maestría en Ingeniería Financiera. Universidad Nacional Autónoma de México.
8. Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of econometrics*, 31(3), 307-327.
9. Boudt, K., Peterson, B., & Croux, C. (2007). Estimation and decomposition of downside risk for portfolios with non-normal returns. *DTEW-KBI_0730*, 1-30.
10. Box, G. E., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. (2011). *Time series analysis: forecasting and control (Vol. 734)*. John Wiley & Sons.
11. Christoffersen, P. (2011). *Elements of financial risk management*. Academic Press.
12. Claro, E., Felipe, Contador, A., Sebastian y Quiroga, P. Cristobal., (2006). Teoría del Valor extremo: Aplicación de la teoría al índice NASDAQ. Seminario de Título. Universidad de Chile.
13. Cont, R., Deguest, R., & Scandolo, G. (2010). Robustness and sensitivity analysis of risk measurement procedures. *Quantitative finance*, 10(6), 593-606.
14. De Lara, Alfonso, (2018). *Medición y control de riesgos financieros*. Cuarta edición. Ed Limusa.
15. Domínguez Mondragón, Adriana (2015). *Modelo de Markowitz y Simulación Monte Carlo aplicados a un portafolio de inversión con acciones del IPC*. 2013-2015.
16. Evans Michael, J., & Rosenthal Jeffrey, S. (2005). *Probabilidad y estadística: la ciencia de la incertidumbre*. Editorial Reverté. Barcelona, España.
17. Feria Dominguez, J., (2005). *El riesgo de mercado: su medición y control*. Madrid. Ed. Delta.

18. Gómez, J. G. A. (2012). El teorema de la separación de Tobin: información del primer semestre de 2008 del mercado accionario colombiano. *AD-minister*, (21), 135-154.
19. Haugen, R.A. (1986). *Modern Investment Theory*. New Jersey: Prentice Hall.
20. Hull, J., 2009. *Introducción a los mercados de futuros y opciones*, sexta edición. Ed. Pearson Educación.
21. Holton, G. A. (2014). *Value-at-risk*. Acad. press
22. J.P. Morgan (1996). "RiskMetrics Technical Document." Morgan Guaranty Trust Company, Market Risk Research. Third Edition.
23. Jorion, P., (2008). *Valor en Riesgo. El nuevo paradigma para el control de riesgo con derivados*. Ed. Limusa Noriega.
24. Kirchgassner, G., Wolters, J., y Hassler, U. (2012). *Introduction to Modern Time Series Analysis*. 2nd Edition. Springer.
25. Lamothe Fernandez, (1999). *Gestión de carteras de acciones internacionales*. Editorial Piramide.
26. Linsmeier, T. J., & Pearson, N. D. (1996). *Risk measurement: An introduction to value at risk* (No. 1629-2016-134959).
27. Luna Arias, A. (2006), *Alternativas estadísticas para el cálculo del Valor en Riesgo VaR*.
28. Lütkepohl, H. (2005). *New introduction to multiple time series analysis*. Springer Science & Business Media.
29. Marín, J. M., & Rubio, G. (2001). *Economía financiera*. Antoni Bosch Editor.
30. Maronna, R. A., D. R. Martin, and V. J. Yohai (2006). *Robust Statistics: Theory and Methods*. Wiley.
31. Markowitz, H. (1952). The utility of wealth. *Journal of political Economy*, 60(2), 151-158.
32. Markowitz, H., (1959). *Portafolio Selection: Efficient Diversification of Investment*, New York; John Wiley.
33. Medina, L.Á. (2003). *Aplicación de la Teoría del Portafolio en el Mercado Accionario Colombiano*. Cuadernos de Economía, 22(39).
34. Michael, J., (2007). *The R book*. Imperial College London at Silwood Park, UK.
35. Mina, J., & Xiao, J. Y. (2001). Return to RiskMetrics: the evolution of a standard. *RiskMetrics Group*, 1, 1-11.
36. Ospina. V., (2008). *Medición del VaR en los portafolios de acciones mercado colombiano*. Anteproyecto de grado para Posgrado en Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira.
37. Prigent, J. L. (2007). *Portfolio optimization and performance analysis*. CRC Press.
38. Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of statistical modeling and analytics*, 2(1), 21-33.
39. Romero Meza, R. (2005). *Medidas de riesgo financiero*.

40. Ross, W. (2012). Finanzas Corporativas. Novena edición. Ed. Mc GrawHill.
41. Sánchez Valderrama F. José L. (2001). Curso de bolsa y mercados financieros Segunda edición. editorial Ariel. Madrid España.
42. Sharp, F., (1994). Capital Asset Process: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. The Journal of Portafolio Management, vol. 19, no 3, pp. 425-442.
43. Tobin, J. (1958). Liquidity preference as behavior towards risk. The review of economic studies, 25(2), 65-86.
44. Trujillo Orozco, D. C. (2010). Coherencia de la medida de riesgo TVaR.
45. Valencia, A. M. (2010). Estimadores del índice de cola y el valor en riesgo. Cuadernos de Administración, 26(44), 71-88.

Recursos electrónicos

1. <https://accionistaseinversores.bbva.com/microsites/bbva2012/es/Gestiondelriesgo/Riesgooperacional.html> (31/07/18 a las 1:00 pm)
2. <https://cuantozombi.com/2012/11/17/monte-carlo/>
3. Holton, G. A., & Glyn, A. Value-at-Risk: Theory and Practice/2nd. <https://www.value-at-risk.net/the-cornish-fisher-expansion/> (31/07/20 a las 1:00 pm)
4. V. Hugo Juan-Ramon (2013). Sesión 6: Indicadores de Solidez Financiera, Prueba de Estrés y Regulación Bancaria [PDF file]. Recuperado de <http://www.cemla.org/actividades/2013/2013-04-contabilidad/2013-04-contabilidad-06.pdf>. (El día 25/08/18, a la 1:00 pm).
5. <https://accionistaseinversores.bbva.com/microsites/bbva2012/es/Gestiondelriesgo/Riesgooperacional.html> (31/07/18 a las 1:00 pm)
6. <https://cuantozombi.com/2012/11/17/monte-carlo/>
7. <https://getmoneyrich.com/use-capture-ratio-to-pick-good-mutual-funds/>
8. **Elecciones de USA:** <https://elceo.com/internacional/candidatos-presidenciales-estados-unidos-2020/>
9. **Mercado de Repos:** <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-01-06/why-the-u-s-repo-market-blew-up-and-how-to-fix-it-quicktake>
10. **Guerra Comercial USA-CHINA:** <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-44735016> (30/05/20 a las 2:06 pm)
11. **Baltrix Dry Index:** <https://tradingeconomics.com/commodity/baltic>
12. **Teoría del cisne negro:** <https://blog.bancosantander.es/economia-y-finanzas/teoria-del-cisne-negro/>
13. **Medidas de la FED ante la crisis del COVID-19:** <https://es.reuters.com/article/businessNews/idESKBN21I2AD>
14. **Dinero Helicóptero:** <https://www.elimparcial.com/dinero/Estados-Unidos-estimula-su-economia-con-dinero-helicoptero-20200404-0006.html>
15. **Instrumentos del Banco de México:** <https://www.gestiopolis.com/instrumentos-de-politica-monetaria-del-banco-de-mexico/>
16. **SPV:** <https://www.investopedia.com/terms/s/spv.asp>
17. **Reportos:** <https://www.rankia.mx/blog/como-comenzar-invertir-bolsa/3345284-reporto-prestamo-valores-titulos-deuda#:~:text=El%20reporto%20es%20una%20operaci%C3%B3n%20usual%20en%20el,de%20rendimiento%20por%20los%20d%C3%ADas%20de%20la%20operaci%C3%B3n.>

Anexo 1: Breve Introducción a la Estadística

Medidas de posición

En la Estadística Descriptiva, se conoce como Medidas de Posición a aquellas entidades numéricas utilizadas para señalar la posición que ocupa un dato determinado, en relación con el resto de datos numéricos, permitiendo así conocer otros puntos propios de la distribución de datos, que no son inherentes a los valores centrales.

Media aritmética:

También conocida como promedio se calcula de la siguiente manera:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Mediana:

Es el valor que ocupa el lugar central de una serie ordenada, esta se encuentra dividiendo entre 2 el número de elementos o con la siguiente fórmula:

$$Mediana = \frac{(n + 1)}{2}$$

Moda:

Es el valor que más se repite, es decir el que tiene mayor frecuencia

Cuartiles:

Los cuartiles corresponden a los valores que tiene una variable y que cumplen con la función de dividir los datos ordenados en cuatro partes con igual valor porcentual. Se distinguen en principio tres cuartiles, que se denotan regularmente con la letra Q (Q1, Q2 y Q3). Lo más relevante de cada cuartil es lo siguiente:

Q1: Representa un valor por debajo del cual quedan un cuarto o 25% de los valores de sucesión, previamente ordenados

Q2: llamado segundo cuartil y considerado la mediana.

Q3: finalmente, el tercer cuartil representa a su vez el valor por debajo del que queda el 75% de todos los datos.

Para calcular cada cuartil es necesario ordenar los datos de menor a mayor, después se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q_K = \frac{k(n + 1)}{4}$$

Donde n= número de datos y K= número de cuartil buscado (si se busca el cuartil 3 k=3)

También existen los percentiles (divide los datos en 5 partes) y los deciles (divide la población en 10 partes).

Variable aleatoria discreta y continua:

Una variable aleatoria es una función que asigna un valor al resultado de un experimento aleatorio. De manera formal se dice que lo siguiente:

“Una variable aleatoria X es una función real definida en el espacio de probabilidad asociado a un experimento aleatorio”.

*Variable aleatoria discreta (V.A.D): Es el conjunto de valores que toma es un conjunto numerable (valores concretos)

*Variable aleatoria continua (V.A.C): Es el conjunto de valores que puede tomar todos los valores que se encuentren dentro de un intervalo, con infinitos decimales.

Función de distribución de probabilidad (FDA)

La función de distribución nos permite estudiar el comportamiento probabilístico de la Variable aleatoria X que tiene asociada cualquier experimento aleatorio.

Matemáticamente hablando, una función de nombre F le asigna a cada valor real x, el de la probabilidad de que una Variable aleatoria X asuma un valor inferior o igual a x.

$$F(x) = P(X \leq b)$$

La probabilidad de que X se sitúe en un intervalo (a, b]

$$P(X \leq b) = F_x(b) - F_x(a)$$

La FDA para el caso discreto es:

$$F(x) = \sum_{x_i \leq x} f(x_i)$$

La FDA para el caso continuo es:

$$F(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt$$

Función de densidad de probabilidad

*Caso Discreto:

Sea X una V.A.D que toma valores diferentes x_1, x_2, \dots, x_n . Entonces la función

$$\begin{aligned} f(x) &= P(X = x_i) \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n \\ &= 0 \quad \text{para } x \neq x_i \end{aligned}$$

Se denomina función de densidad de probabilidad discreta (FDP) de X, donde $P(X = x_i)$, significa la probabilidad de que la V.A.D tome el valor x_i .

*Caso Continuo:

Sea X una V.A.C. Entonces se dice que $f(x)$ es la FDP de X si satisface las siguientes condiciones:

$$f(x) \geq 0$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$$

$$\int_a^b f(x) dx = P(a \leq x \leq b)$$

Donde $f(x)$ se conoce como el elemento probabilístico (la probabilidad asociada a un pequeño intervalo de una variable continua) y donde $P(a \leq x \leq b)$ significa la probabilidad de que X se encuentre en el intervalo “a” y “b”.

Características de las distribuciones de probabilidad

Una distribución de probabilidad a menudo se resume en términos de algunas de sus características, conocidas como momentos de la distribución.

Valor esperado

*Para el caso discreto:

El valor esperado de una variable discreta X, se denota como $E(X)$ y se define como:

$$E(X) = \sum_x x f(x)$$

*Para el caso continuo:

$$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

La única diferencia entre este caso y el caso discreto es que el símbolo de sumatoria se reemplaza por el símbolo de integral.

Varianza

Sea X una V.A y sea $E(x) = \mu$. La dispersión de los valores de X alrededor del valor esperado se mide por la varianza, la cual se define como:

$$var(x) = \sigma_x^2 = E(X - \mu)^2$$

La raíz cuadrada positiva de la varianza se define como desviación estándar de X. La varianza y la desviación estándar dan una indicación de que tan dispersos o cercanos están los valores individuales de X respecto a su valor medio.

*Caso discreto:

$$var(x) = \sum (X - \mu)^2 f(x)$$

*Caso continuo:

$$var(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (X - \mu)^2 f(x)dx$$

Covarianza

En palabras simples la covarianza nos permite saber cómo se comporta una variable en función de lo que hace otra variable.

Sea X y Y dos V.A con media μ_x y μ_y respectivamente. Entonces, la covarianza entre las 2 Variables se define como:

$$cov(X, Y) = E\{(X - \mu_x)(Y - \mu_y)\} = E(XY) - \mu_x\mu_y$$

Correlación

El coeficiente de correlación mide el grado de asociación lineal entre 2 valores y su valor se sitúa entre -1 y +1, donde -1 indica una perfecta asociación lineal negativa y +1 indica una perfecta asociación lineal positiva. Podemos definir la correlación de la siguiente forma:

$$\rho = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\{\text{var}(x)\text{var}(Y)\}}} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$$

Momentos superiores de las distribuciones de probabilidad

Aunque la media, la varianza y la covarianza son medidas muy frecuentes de las FDP, pero para conocer la forma de la distribución de probabilidad debemos calcular el tercer y cuarto momento:

$$\text{Tercer momento} = E(X - \mu)^3$$

$$\text{Cuarto momento} = E(X - \mu)^4$$

***Coeficiente de asimetría:**

A partir del tercer momento podemos conocer el coeficiente de asimetría el cual, nos dice la falta de simetría de una distribución la cual se evalúa en relación con el centro de la distribución, marcado por su media aritmética.

$$S = \frac{E(X - \mu)^3}{\sigma^3}$$

Cuando el número obtenido es negativo nos indica que la distribución esta sesgada a la izquierda (la cola izquierda es más gruesa que la derecha). Por su parte si el valor es positivo nos indica que la distribución esta sesgada a la derecha.

***Coeficiente de curtosis:**

Por su parte el cuarto momento nos permite calcular el coeficiente de curtosis, esta medida nos permite conocer el nivel de apuntamiento en comparación a una distribución normal. Se dice que una distribución es mesocúrtica si es tan puntiaguda o aplanada como una distribución normal; en cambio sí tiene pico relativamente bajo a comparación a una normal se dice que es una distribución platicúrtica. Finalmente, si la distribución es más puntiaguda que la normal se le llama leptocúrtica, esta los lados de distribución bajan de forma marcada y sus extremos no se extienden mucho. El cálculo para obtener la curtosis es el siguiente:

$$K = \frac{E(X - \mu)^4}{\sigma^4}$$

Teorema de Chebyshev

Este teorema nos permite determinar la proporción mínima de valores que se encuentran en un número específico de desviaciones estándar en relación con la media.

El teorema de Chebyshev establece que, para cualquier conjunto de datos, al menos $(1 - 1/K^2)$ de las observaciones está dentro de K desviaciones estándar de la media, en donde K es cualquier número mayor que 1.

Si formamos un intervalo desde $K=3$ desviaciones estándar por encima de la media, hasta 3 desviaciones estándar

por debajo de ella, se tiene que:

$$1 - \left[\frac{1}{3^2} \right] = 0.8889$$

Esto quiere decir que, para cualquier conjunto de datos, del total de observaciones, cuando menos 88.89% de ellas se encuentran en el intervalo de la media más menos 3 desviaciones estándar. Se puede observar en la imagen un resumen de este teorema.

Algunas distribuciones de probabilidad teóricas:

	Notation	$F_X(x)$	$f_X(x)$	$E[X]$	$V[X]$	$M_X(s)$
Uniform	Unif(a, b)	$\begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x < b \\ 1 & x > b \end{cases}$	$\frac{I(a < x < b)}{b-a}$	$\frac{a+b}{2}$	$\frac{(b-a)^2}{12}$	$\frac{e^{bs} - e^{as}}{s(b-a)}$
Normal	$\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$	$\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t) dt$	$\phi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$	μ	σ^2	$\exp\left\{\mu s + \frac{\sigma^2 s^2}{2}\right\}$
Log-Normal	$\ln \mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left[\frac{\ln x - \mu}{\sqrt{2\sigma^2}}\right]$	$\frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$	$e^{\mu + \sigma^2/2}$	$(e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu + \sigma^2}$	
Multivariate Normal	MVN(μ, Σ)		$(2\pi)^{-k/2} \Sigma ^{-1/2} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu)^T \Sigma^{-1} (x-\mu)}$	μ	Σ	$\exp\left\{\mu^T s + \frac{1}{2} s^T \Sigma s\right\}$
Student's t	Student(ν)	$I_x\left(\frac{\nu}{2}, \frac{\nu}{2}\right)$	$\frac{\Gamma(\frac{\nu+1}{2})}{\sqrt{\nu\pi}\Gamma(\frac{\nu}{2})} \left(1 + \frac{x^2}{\nu}\right)^{-(\nu+1)/2}$	0	0	
Chi-square	χ_k^2	$\frac{1}{\Gamma(k/2)\gamma}\left(\frac{k}{2}, \frac{x}{2}\right)$	$\frac{1}{2^{k/2}\Gamma(k/2)} x^{k/2-1} e^{-x/2}$	k	$2k$	$(1-2s)^{-k/2} \quad s < 1/2$
F	F(d_1, d_2)	$I_{\frac{d_1 x}{d_1 + d_2}}\left(\frac{d_1}{2}, \frac{d_1}{2}\right)$	$\frac{\sqrt{(d_1 x)^{d_1} d_1^{d_1/2}}}{x B\left(\frac{d_1}{2}, \frac{d_2}{2}\right)} \frac{1}{1 + x/\beta}$	$\frac{d_2}{d_2 - 2}$	$\frac{2d_1^2(d_1 + d_2 - 2)}{d_1(d_2 - 2)^2(d_2 - 4)}$	$\frac{1}{1 - \beta s} \quad (s < 1/\beta)$
Exponential	Exp(β)	$1 - e^{-x/\beta}$	$\frac{1}{\beta} e^{-x/\beta}$	β	β^2	$\frac{1}{1 - \beta s} \quad (s < 1/\beta)$
Gamma	Gamma(α, β)	$\frac{\gamma(\alpha, x/\beta)}{\Gamma(\alpha)}$	$\frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$	$\alpha\beta$	$\alpha\beta^2$	$\left(\frac{1}{1 - \beta s}\right)^\alpha \quad (s < 1/\beta)$
Inverse Gamma	InvGamma(α, β)	$\frac{\Gamma(\alpha, \frac{\beta}{x})}{\Gamma(\alpha)}$	$\frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{-\alpha-1} e^{-\beta/x}$	$\frac{\beta}{\alpha-1} \quad \alpha > 1$	$\frac{\beta^2}{(\alpha-1)^2(\alpha-2)} \quad \alpha > 2$	$\frac{2(-\beta s)^{\alpha/2}}{\Gamma(\alpha)} K_\alpha(\sqrt{-4\beta s})$
Dirichlet	Dir(α)		$\frac{\Gamma(\sum_{i=1}^k \alpha_i)}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} \prod_{i=1}^k x_i^{\alpha_i-1}$	$\frac{\beta}{\sum_{i=1}^k \alpha_i}$	$\frac{\mathbb{E}[X_i](1 - \mathbb{E}[X_i])}{\sum_{i=1}^k \alpha_i + 1}$	
Beta	Beta(α, β)	$I_x(\alpha, \beta)$	$\frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}$	$\frac{\alpha}{\alpha + \beta}$	$\frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1)}$	$1 + \sum_{k=1}^{\infty} \left(\prod_{r=0}^{k-1} \frac{\alpha + r}{\alpha + \beta + r}\right) \frac{s^k}{k!}$
Weibull	Weibull(λ, k)	$1 - e^{-(x/\lambda)^k}$	$\frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k}$	$\lambda \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$	$\lambda^2 \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \mu^2$	$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{s^n \lambda^n}{n!} \Gamma\left(1 + \frac{n}{k}\right)$
Pareto	Pareto(x_m, α)	$1 - \left(\frac{x_m}{x}\right)^\alpha \quad x \geq x_m$	$\frac{\alpha x_m^\alpha}{x^{\alpha+1}} \quad x \geq x_m$	$\frac{\alpha x_m}{\alpha - 1} \quad \alpha > 1$	$\frac{x_m^\alpha}{(\alpha - 1)^2(\alpha - 2)} \quad \alpha > 2$	$\alpha(-x_m s)^{\alpha-1} \Gamma(-\alpha, -x_m s) \quad s < 0$

100 Imagen obtenida de https://www.oreilly.com/library/view/statistics-and-probability/9781118215234/26_appendix001.html

Distribución Logística¹⁰¹:

Debido al resultado que arrojo el software se incorpora la distribución logística

Parámetros:

$\mu \rightarrow$ localización (donde se inicia la distribución)

$s > 0$ escala (muestra que tan aguda o plana es la función)

Función de distribución:

$$F(x, \mu, s) = \frac{1}{1 + e^{-(x-\mu)/s}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \tanh\left(\frac{x-\mu}{2s}\right)$$

Función de densidad:

$$f(x, \mu, s) = \frac{e^{-(x-\mu)/s}}{s(1 + e^{-\frac{x-\mu}{s}})^2} = \frac{1}{4s} \operatorname{sech}^2\left(\frac{x-\mu}{2s}\right)$$

Media= μ

Mediana= μ

Moda= μ

Varianza= $\frac{\pi^2}{3} s^2$

Coefficiente de simetría=0

Curtosis= 6/5

Estimación de Máxima Verosimilitud¹⁰²

La Estimación de Máxima Verosimilitud (EMV) es un modelo general para estimar parámetros de una distribución de probabilidad que depende de las observaciones de la muestra. En otras palabras, la EMV maximiza la probabilidad de los parámetros de las funciones de densidad que dependen de la distribución de probabilidad y las observaciones de la muestra.

¹⁰¹ Se utilizó la siguiente liga para obtener información
https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_log%C3%ADstica

¹⁰² Se utilizó para este subtema la siguiente liga debido a la facilidad de explicación del tema
<https://economipedia.com/definiciones/estimacion-de-maxima-verosimilitud.html>

Cuando se habla de estimación de máxima verosimilitud, debemos hablar de la función de máxima verosimilitud. Matemáticamente es:

Dada una muestra $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ y parámetros $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_n)$ entonces,

$$L(\theta|x) = \prod_{i=0}^n f(x_i, \theta)$$

Lo cual quiere decir que es la multiplicación de todas las funciones de densidad que dependen de las observaciones de la muestra (x_1) y de los parámetros θ .

Cuanto más grande es el valor de $L(\theta|x)$, el valor de la función de máxima verosimilitud, más probable serán los parámetros basados en la muestra.

El primer paso es tener la función de probabilidad

$$f(x|\theta)$$

El segundo paso es obtener la función Log-verosimilitud

$$\zeta(\theta) = \text{Ln} \left[\prod_{i=0}^n f(x_i, \theta) \right] = \sum_{i=1}^n \text{Ln}(f(x_i, \theta))$$

Después de ello, se deriva la función log-verosimilitud y se iguala a cero

$$\frac{d\zeta(\theta)}{d\theta} = 0$$

El último paso es despejar el parámetro

$$\theta_{MV} \hat{=} \theta$$

Pruebas de hipótesis

Una prueba de hipótesis es un procedimiento, con el que se busca tomar una decisión sobre el valor de verdad de una hipótesis estadística. Al realizar una prueba de hipótesis decidimos si rechazar o no rechazar esa hipótesis estadística. Basamos la decisión en la evidencia muestral.

Los pasos a seguir para hacer una prueba de hipótesis son los siguientes:

Expresar la hipótesis nula y la hipótesis alternativa

Especificar el nivel de significancia

Determinar el tamaño de la muestra

Establecer los valores críticos que establecen las regiones de rechazo de las de no rechazo.

Determinar la prueba estadística.

Coleccionar los datos y calcular el valor de la muestra de la prueba estadística apropiada.

Determinar si la prueba estadística ha sido en la zona de rechazo a una de no rechazo.

Determinar la decisión estadística.

Expresar la decisión estadística en términos del problema.

Si rechazamos una hipótesis cuando debiera ser aceptada, diremos que se ha cometido un error de tipo I.

Por otra parte, si aceptamos una hipótesis que debiera ser rechazada, diremos que se cometió un error de tipo II.

En ambos casos, se ha producido un juicio erróneo.

Prueba Anderson-Darling

El estadístico Anderson-Darling mide qué tan bien siguen los datos una distribución específica. Para un conjunto de datos y distribución en particular, mientras mejor se ajuste la distribución a los datos, menor será este estadístico. Por lo tanto, una prueba de hipótesis fórmula 2 hipótesis la primera (H_0) o hipótesis nula es la hipótesis que se desea probar y la segunda hipótesis se llama hipótesis alternativa.

El estadístico de A^2 esta dado por la siguiente fórmula:

$$A^2 = -n - S$$
$$S_i = \frac{(2i - 1)}{n} [\ln F(Y_i) + \ln (1 - F(Y_{n+1-i}))]$$
$$S = \sum_{i=1}^n S_i$$

Por ejemplo, podemos utilizar el estadístico de Anderson-Darling para determinar si los datos cumplen el supuesto de normalidad para una prueba t.

Las hipótesis para la prueba de Anderson-Darling son:

H_0 : Los datos siguen una distribución especificada

H_1 : Los datos no siguen una distribución especificada

Si el valor p es menor que un nivel de significancia elegido (por lo general 0.05 o 0.10), entonces rechace la hipótesis nula de que los datos provienen de esa distribución

Prueba Kolmogorov-Smirnov (KS)

Esta prueba no paramétrica permite verificar si las puntuaciones de la muestra siguen o alguna distribución específica. Es decir, permite medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica específica. Su objetivo es señalar si los datos provienen de una población que tiene la distribución teórica especificada, es decir, lo que hace es contrastar si las observaciones podrían razonablemente proceder de la distribución especificada.

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & \text{si } y_i \leq x, \\ 0 & \text{alternativa} \end{cases}$$

Para 2 colas el estadístico viene dado por:

$$D_n^+ = \max (F_n(x) - F(x))$$

$$D_n^- = \max (F(x) - F_n(x))$$

Las hipótesis para la prueba KS son:

H0: Los datos siguen una distribución especificada.

H1: Los datos no siguen una distribución especificada.

Si el valor p es menor que un nivel de significancia elegido (por lo general 0.05 o 0.10), entonces rechace la hipótesis nula de que los datos provienen de esa distribución.

De acuerdo a Razali & Wah (2011)¹⁰³. La prueba Anderson Darling es más poderosa que la prueba KS.

Criterio de información de Akaike (AIC)

Es una medida de la calidad relativa de un modelo estadístico, para un conjunto dado de datos. Como tal, el AIC proporciona un medio para la selección del modelo.

AIC maneja un trade-off entre la bondad de ajuste del modelo y la complejidad del modelo. Se basa en la entropía de información: se ofrece una estimación relativa de la información pérdida cuando se utiliza un modelo determinado para representar el proceso que genera los datos.

103

El caso general de AIC es el siguiente:

$$AIC = 2k - 2\ln(L)$$

Donde k es el número de parámetros en el modelo estadístico y L, es el máximo valor de la función de verosimilitud para el modelo estimado.

Criterio de información bayesiano (BIC)

También llamado criterio Schwarz, es un criterio para la selección de modelos entre un conjunto finito de modelos.

$$-2 * \ln p(x|M) \approx BIC = -2\ln\hat{L} + k\ln(n)$$

El BIC generalmente penaliza parámetros libres con más fuerza que hace el criterio de información de Akaike, aunque depende del tamaño de n y la magnitud relativa de n y k.

Es importante tener en cuenta que el BIC se puede utilizar para comparar los modelos estimados sólo cuando los valores numéricos de la variable dependiente son idénticos para todas las estimaciones que se están comparando.

Anexo 2: Código

<https://github.com/FinanceJRamon/PortafolioMex>

