

**Aplicación de la teoría de valores extremos (TVE) para determinar pérdidas no esperadas a las acciones más volátiles del índice COLCAP**



**Liliana Janeth Colmenares Benavides  
Jorge Eliécer Mónoga Cadena**

**Universidad Autónoma de Bucaramanga  
Facultad de ingenierías  
Ingeniería Financiera  
Bucaramanga  
2019**

**Aplicación de la teoría de valores extremos (TVE) para determinar pérdidas no esperadas a las acciones más volátiles del índice COLCAP**

**Liliana Janeth Colmenares Benavides  
Jorge Eliécer Mónoga Cadena**

**Presentado a:  
Gloria Inés Macías Villalba**

**Universidad Autónoma de Bucaramanga  
Facultad de ingenierías  
Ingeniería Financiera  
Bucaramanga  
2019**

## Índice

Introducción	8
Capítulo 1: Teoría de valores extremos, un enfoque teórico	10
1.1. Riesgo	10
1.2. Gestión del riesgo	11
1.2.1. ISO 31000 (2018)	12
1.3. Riesgos financieros	17
1.3.1. Riesgo de crédito	18
1.3.2. Riesgo de liquidez	18
1.3.3. Riesgo operativo	19
1.4. Riesgo de mercado	20
1.4.1. Riesgos de tipo de interés	20
1.4.2. Riesgos de tipos de cambio	20
1.5. Medición del riesgo de mercado	21
1.5.1 Value at Risk	21
1.5.2. Expected shortfall (ES)	32
1.6. Valores extremos	33
1.6.1. Teoría asintótica de valores extremos	34
1.7. Teoría de valores extremos (TVE)	35
1.7.1. Bloques máximos	36
1.7.2. Picos sobre el umbral (POT)	38
1.8. Backtesting	41
1.8.1 Prueba de kupiec	41
Capítulo 2: Teoría de valores extremos, un enfoque práctico	42
2.1. Método de los bloques máximos	53
2.1.1. Acción Preferencial de Avianca	53
2.1.2. Acción Ordinaria de Cemex Latam Holdings	59
2.1.3. Acción Ordinaria de Corficolombiana	61
2.2. Método de picos sobre el umbral	64
2.2.1. Acción Preferencial de Avianca	64
2.2.2. Acción Ordinaria de Cemex Latam Holdings	71
2.2.3. Acción Ordinaria de Corficolombiana	74
Capítulo 3: Backtesting	77
3.1. Pruebas de Kupiec: Método Bloques Máximos	78

3.2. Pruebas de Kupiec: Método Picos sobre el umbral	80
Conclusiones	82
Bibliografía	85

## Lista de Tablas

Tabla 1. Probabilidades y sus parámetros	31
Tabla 2. Distribuciones de valores extremos	38
Tabla 3. Las tres zonas del comité de Basilea	41
Tabla 4. Acciones que hacen parte del índice Colcap en el tercer trimestre del 2019	44
Tabla 5. Acciones del Colcap clasificadas en la categoría alta bursatilidad	45
Tabla 6. Proceso del cálculo de la volatilidad dinámica EWMA	47
Tabla 7. Proceso de optimización del parámetro $\lambda$	48
Tabla 8. Resultados de la optimización del parámetro $\lambda$ en el caso ejemplo de la acción de Ecopetrol	50
Tabla 9. Volatilidad EWMA de las 17 acciones más bursátiles de índice Colcap	50
Tabla 11. Valor del exceso de curtosis de las acciones con alta volatilidad del índice Colcap	52
Tabla 12. Acciones calificadas con alta curtosis	52
Tabla 13. Acciones con las que se trabajarán los dos enfoques de la teoría de valores extremos	52
Tabla 14. Pérdidas extremas presentes en cada uno de los 53 bloques de Avianca Preferencial	54
Tabla 15. Pérdidas extremas presentes en cada uno de los 53 bloques de Cemex	60
Tabla 16. Pérdidas extremas presentes en cada uno de los 53 bloques de Corficolombiana	62
Tabla 17. Muestra de solo pérdidas de Avianca Preferencial	65
Tabla 18. Percentiles y umbrales	66
Tabla 19. Umbrales y medias de excesos de Avianca Preferencial	67
Tabla 20. Picos sobre el umbral determinado para Avianca preferencial	69
Tabla 21. Umbrales y medias de excesos de Cemex	71
Tabla 22. Picos sobre el umbral determinado para Cemex	72
Tabla 23. Umbrales y medias de excesos de Corficolombiana	74
Tabla 24. Picos sobre el umbral determinado para Corficolombiana	75

## Lista de Figuras

Figura 1. Principios, marco de referencia y proceso	14
Figura 2. Proceso para la gestión de riesgos	15
Figura 3. Gráfico de distribución de pérdidas y ganancias	22
Figura 4: Heterocedasticidad versus Homocedasticidad	27
Figura 5: Distribución de los percentiles	29
Figura 6: Diferencias entre el VaR y el ES	33
Figura 7. Bloques y valores máximos	36
Figura 8. Picos sobre el umbral	38
Figura 9. Gráfico de la media de los excesos para las variaciones del precio de un activo	40
Figura 10. Distribución de probabilidad	43
Figura 11. Extracto del índice de bursatilidad accionario publicado en el mes de junio por la SFC	45
Figura 12. Proceso de optimización del parámetro $\lambda$ a través de la herramienta de Excel Solver	49
Figura 13. Bloques creados para aplicar el enfoque de bloques máximos a Avianca Preferencial	53
Figura 14. Distribución teórica a la que más se ajusta la muestra original de pérdidas extremas de Avianca Preferencial	55
Figura 15. Creación de un perfil en risk simulator	56
Figura 16. Supuesto de entrada de la simulación de montecarlo	57
Figura 17. Supuesto de salida es igual al supuesto de entrada	57
Figura 18. Cuadro de diálogo pronóstico de salida	58
Figura 19. Cuadro de diálogo para hallar percentil del VaR de Avianca Preferencial	58
Figura 20. Bloques creados para aplicar el enfoque de bloques máximos a Cemex	59
Figura 21. Distribución teórica a la que más se ajusta la muestra original de pérdidas extremas de Cemex	60
Figura 22. Cuadro de diálogo para hallar percentil del VaR de Cemex	61

Figura 23. Bloques creados para aplicar el enfoque de bloques máximos a Corficolombiana	62
Figura 24. Pérdidas extremas presentes en cada uno de los 53 bloques de Corficolombiana	63
Figura 25. Cuadro de diálogo para hallar percentil del VaR de Corficolombiana	65
Figura 26. Extracto medias de excesos	67
Figura 27. Umbrales vs medias de excesos	68
Figura 28. Umbrales vs medias de excesos y umbral escogido para Avianca Preferencial	68
Figura 29. Ajuste de distribución POT Avianca Preferencial (2019)	70
Figura 30. Percentil del VaR – Método POT Avianca Preferencial	70
Figura 31. Umbrales vs medias de excesos y umbral escogido para Cemex	72
Figura 32. Ajuste de distribución POT Cemex	73
Figura 33. Percentil del VaR – Método POT Cemex	73
Figura 34. Umbrales vs medias de excesos y umbral escogido para Corficolombiana	75
Figura 35. Ajuste de distribución POT Corficolombiana	76
Figura 36. Percentil del VaR – Método POT Corficolombiana	76
Figura 37. Prueba de Kupiec: Bloque Máximos-Avianca Preferencial	78
Figura 38. Prueba de Kupiec: Bloque Máximos-Cemex	78
Figura 39. Prueba de Kupiec: Bloque Máximos-Corficolombiana	79
Figura 40. Prueba de Kupiec: POT-Avianca Preferencial	80
Figura 41. Prueba de Kupiec: POT-Cemex	80
Figura 42. Prueba de Kupiec: POT-Corficolombiana	80

## Introducción

El lunes 19 de octubre de 1987 el Dow Jones presentó una caída del 22,6%, llevando a pérdidas de alrededor de 550.000 millones de dólares a los inversores de la bolsa de Nueva York, entre los que se destacan, Bill Gates quien perdió USD 255 millones, Warrent Buffet con USD 347 millones y la familia Walton -fundadora de Walmart- con USD 1750 millones (Vegas, Calvo, & Varó, 2007). Eventos como estos se presentan pocas veces en los mercados de valores y son conocidos en el mundo financiero como cisnes negros; los cuales son descritos por Taleb (2007) como aquellos sucesos extremos que son poco esperados y que de ocurrir desencadenan en repercusiones bastante fuertes.

Los inversionistas que colocan su dinero en acciones, están diariamente expuestos a diferentes riesgos financieros, tales como el riesgo de mercado, que se manifiesta a partir de las variaciones del precio de las mismas. De ahí, nace la importancia de hacer una correcta gestión del riesgo de mercado, de manera que se estimen pérdidas que puedan presentarse tanto en momentos de normalidad de la economía, como en momentos de turbulencia; permitiendo así, que el inversor (sea persona o empresa) posea un capital suficiente que tolere pérdidas de proporciones altas sin que su solvencia se vea alterada.

Con respecto a lo anterior, las empresas actualmente calculan estas pérdidas a través de la medida estadística VaR, la cual estima la pérdida máxima esperada que un activo pueda tener, a un nivel de confianza dado y en un periodo de tiempo determinado; siempre y cuando el mercado se encuentre en condiciones normales. Por tal razón, se hace necesario usar métodos alternativos y complementarios al VaR en donde se estimen pérdidas no esperadas que lleguen a presentarse en el momento en el cual el mercado tenga un alto grado de volatilidad que pueda llegar a producir niveles de pérdidas extremos. Con el fin de estimar dichas pérdidas, se plantea como solución usar la teoría de valores extremos (TVE); la cual se define como la rama de la estadística que se centra en estudiar, modelar y cuantificar eventos que poseen una probabilidad de ocurrencia baja y que a su vez presentan un alto grado de severidad.

Por consiguiente, la presente investigación tiene como objeto desarrollar un enfoque teórico y práctico de la teoría de valores extremos, de manera tal, que se dé solución a la problemática planteada. Así, en la etapa inicial se desarrollará una conceptualización de la TVE que aborde la forma en la que se trabajan los dos enfoques que la teoría contempla: los bloques



máximos y los picos sobre el umbral. Con respecto al enfoque práctico, la pretensión de este proyecto es aplicar la TVE en la medición del riesgo de mercado, de modo que, se calculen las pérdidas no esperadas de las acciones más volátiles del índice accionario Colcap; para que finalmente, mediante una prueba backtesting se evalúe cuál de los dos enfoques de la TVE es más acertado a la hora de predecir las pérdidas diarias en los precios de las acciones.

## Capítulo 1: Teoría de valores extremos, un enfoque teórico

### 1.1. Riesgo

La real Academia de la Lengua Española (2019) muestra dos definiciones generales del concepto de riesgo; la primera lo precisa como la “contingencia o proximidad de un daño” y la segunda, como aquella “contingencia que puede ser objeto de un contrato de seguro”. En las definiciones anteriores se puede evidenciar que el concepto de riesgo tiene a primera vista una connotación negativa, e incluso, podemos ver como desde las definiciones más básicas se relaciona el riesgo con la cobertura; en este caso, con los seguros.

Por otra parte, definiciones más especializadas como la dada por el Boletín Oficial del Estado (2015), describen al riesgo como “la probabilidad de ocurrencia de un suceso y de la cuantía del daño que este puede provocar”. Esta definición, da un sentido más amplio al concepto, ya que lo muestra como una función que varía dependiendo de dos factores: la probabilidad y el impacto; no obstante, el riesgo sigue teniendo una acepción desfavorable.

Sin embargo, hay autores que tienen una idea no tan radical y pesimista de este concepto; tal como M. Lefcovich (2009) quien dice que el riesgo existe cuando “se tienen dos o más posibilidades entre las cuales optar, sin poder conocer de antemano los resultados a los que cada una de estas conducirá”. Por ende, se puede inferir que el riesgo no es simplemente ese escenario negativo que puede dañar, sino que, es aquella situación en la que simplemente el resultado de una acción es inesperado, o en su defecto, no se tiene la certeza absoluta de las consecuencias que pueda traer. En resumen, el riesgo implica la posibilidad tanto de perder, como de ganar.

Por su parte, G. Baca y M. Marceline (2016) exponen que una empresa está siempre expuesta a riesgos y que estos se manifiestan cuando se dan desviaciones entre los ingresos y gastos presupuestados para un periodo, y las cifras reales que efectivamente se presentan al final del mismo. Las diferencias o desviaciones que mencionaron previamente los autores, pueden ser tan grandes, que los procesos y la salud financiera de la empresa pueden llegar a verse bastante afectados si no se gestionan de una manera correcta, y llegarán incluso a provocar que la empresa no pueda cumplir sus objetivos, de manera que, será cada vez más dificultoso el seguir generando valor.

## 1.2. Gestión del riesgo

Como se mencionó previamente, todo tipo o tamaño de organización se encuentra expuesta a factores internos y externos que crean escenarios de incertidumbre en ellas y sus objetivos; es así como cada una de las actividades que se realizan dentro de una organización implica riesgo, por ello, se hace necesario, gestionarlo adecuadamente, de modo que la compañía logre dar cumplimiento a sus objetivos organizacionales.

La gestión del riesgo es el proceso mediante el cual se identifican, analizan y cuantifican las probabilidades de pérdidas y efectos secundarios que se derivan de los sucesos poco favorables, del mismo modo que las acciones preventivas, correctivas y reductivas que correspondan al manejo que se llevará a cabo (n/a, s.f.).

Se pueden identificar tres actividades principales que se llevan a cabo al momento de realizar la gestión del riesgo:

- **Identificar los riesgos a los que se puede estar expuesto:** es la etapa en donde se identifican los potenciales eventos adversos, antes o después de que sucedan. La concreta identificación del riesgo evitará que este desencadene mayores dificultades y por ende mayores costos. De manera que es imprescindible contar con procedimientos estandarizados en la definición de requerimientos, lo que permite llevar a la construcción de un repositorio de información acerca de los riesgos a administrar.
- **Determinar la relevancia de los riesgos:** luego de identificados los riesgos se debe proceder a su clasificación, para ello se tienen presente tres tipos de riesgos:
  1. Aquellos que por su probabilidad de ocurrencia o impacto poseen una pérdida esperada que no representa relevancia, es decir que al realizar un estudio de costos versus beneficios, es indistinto considerarlos.
  2. Los que de acuerdo a su impacto o probabilidad de ocurrencia, tienen pérdida esperada considerable y que en cuyo caso de presentarse, debe ser analizados a

modo que puedan presentarse estrategias que permitan su mitigación o control; es el tipo de riesgos más común en las organizaciones.

3. Aquellos que por su alto impacto no es posible controlarlos, de tal manera, que sólo pueden ser asegurados.
- **Implementación de estrategias:** después de realizada la clasificación, es necesario la elaboración de procedimientos que señalen las diferentes acciones a seguir para disminuir el impacto que pueda llegar a causar el evento adverso. Para lo cual existen dos grandes estrategias:
    1. **Estrategias de mitigación:** son estrategias que contribuyen a la disminuir las consecuencias que se producirían en caso de presentarse el riesgo.
    2. **Estrategias de contingencia:** son estrategias enfocadas a la eliminación parcial o completa del efecto adverso producto del riesgo; este tipo de estrategias suelen significar un mayor gasto de recursos por lo cual se aconseja que solo deben ser implementadas para aquellos riesgos que lo ameriten (Pinar, s.f.).

El adecuado manejo de los riesgos brinda a las compañías protección para sí mismas y oportunidades de crecimiento. El reto que tiene cualquier organización, es el crear e integrar prácticas en sus operaciones que puedan ser aplicadas diariamente e incluso llevándolas a aplicarse en tramos más amplios de la práctica organizativa; por ello, el uso de normas como la ISO 31000 posibilitan a todo tipo de organizaciones mejorar la eficiencia operativa, la gobernabilidad y la confianza, llevándolas a mantener un estándar de calidad en el mercado. (Isotools, 2017).

**1.2.1. ISO 31000 (2018).** La Organización Internacional de Normalización (ISO por sus siglas en inglés), es un organismo global no gubernamental nacido en 1947, con sede en Ginebra, Suiza, que se encarga de crear y promover estándares de cumplimiento voluntario en diversos procesos industriales y comerciales. En el año 2018, este organismo presentó una nueva versión del documento ISO 31000 (originalmente publicado en el 2009). El nuevo documento describe “los principios y directrices para la gestión de riesgos, y establece

disposiciones que ayudan al diseño, implementación, mantenimiento y revisión de un sistema de gestión de riesgos” (Isotools, 2018).

En resumen, los cambios más importantes que tuvo la norma ISO 31000 con respecto a la edición publicada en el año 2009 fueron los siguientes:

- Se revisaron los conceptos básicos referentes a la gestión del riesgo, de modo que los procesos fuesen más entendibles y por ende más exitosos.
- La alta dirección de las empresas toma mayor importancia en el proceso de gestión, ya que es la que se encarga de que todos los niveles de la compañía estén al tanto de los procesos que atañen a la administración del riesgo.
- Se hace hincapié en que el proceso de gestión descrito en el documento es cambiante y que puede variar en función de las experiencias y el conocimiento propio de la empresa. Por ello, el contenido final de la norma, se hizo más corto, con la intención de que la normativa se adaptara a diferentes contextos y necesidades.

A modo de introducción, la norma señala que el documento está hecho para las personas que crean y preservan el valor de una organización a través de la administración de riesgos. Señalando además, que el proceso es de vital importancia ya que toda empresa puede ver afectado el cumplimiento de sus objetivos, ya sea por el propio comportamiento del negocio, o porque factores externos pueden llegar a afectar su desarrollo y crecimiento.

La gestión de riesgos descrita en la norma, sienta sus bases en tres grandes pilares, los principios, el marco de referencia y el proceso de gestión en sí.

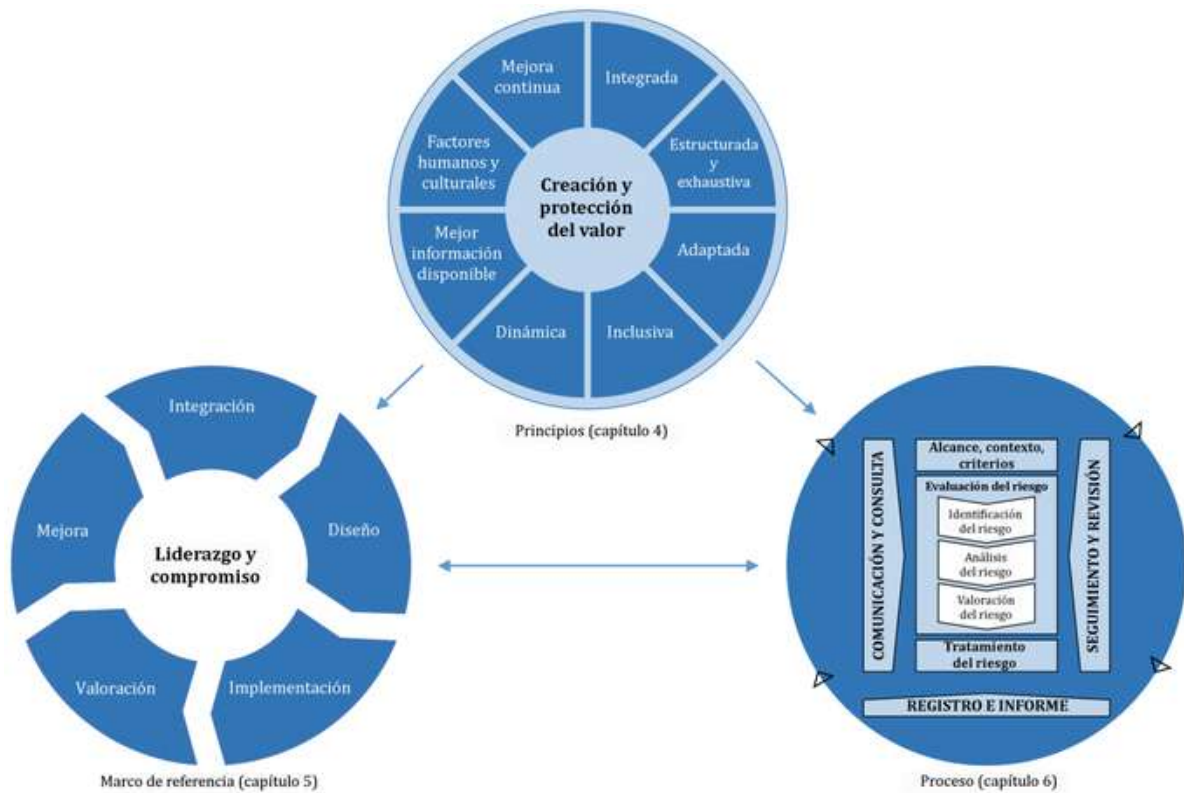


Figura 1. Principios, marco de referencia y proceso (2018). Tomada de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>

La gráfica anterior muestra y resume los tres pilares mencionados anteriormente; a continuación puede verse una ampliación de cada uno de estos:

**1.2.1.1. Principios.** En el momento en que una organización decide constituir un proceso de gestión del riesgo de acuerdo a la norma ISO 31000: 2018, debe tener en cuenta una serie de principios que harán que el procedimiento se realice de una forma más eficiente. Isotools (2018) define estos principios como “la base para gestionar el riesgo, la cual debe considerarse al establecer el marco de referencia y la gestión de procesos”:

El principio de integración e inclusividad con los cuales se pretende que el proceso llegue a todos los niveles y áreas de la organización; los de dinamismo y adaptación, con los que la empresa debe tener claro que a diario pueden aparecer nuevos riesgos, unos pueden desaparecer o simplemente transformarse, además de que debe adaptar el proceso de gestión de acuerdo a su contexto propio. Así mismo, la organización debe tener en cuenta otros principios como el de la información disponible y el de mejora continua; de modo que, se cuente con un registro amplio de información histórica y de proyecciones futuras dispuestas

para la gestión, además, de que debe demostrarse de que el proceso verdaderamente está siendo efectivo.

**1.2.1.2. Marco de referencia.** Según la ISO 31000, el marco de referencia es un grupo de elementos que dan vida y sostienen el proceso de la gestión de riesgo, y su finalidad es describir la forma en que las organizaciones deben integrar la gestión de riesgos en todas las actividades que realizan. Destacando, en primer lugar, que la alta gerencia es quien debe tener mayor compromiso, y por ende, encargarse de que los funcionarios de la compañía reconozcan la importancia de aplicar el proceso de gestión en todos los niveles de la organización, apuntando siempre al cumplimiento de los objetivos institucionales (Isotools, 2018).

Así, la integración implica que todos los miembros de una organización sepan que son los responsables de hacer que el proceso de la gestión del riesgo se desarrolle de manera óptima. Por lo cual, es necesario, que los funcionarios conozcan la compañía en donde laboran, comprendan todos sus procesos y estén al tanto del ambiente que la rodea y pueda afectarla.

Luego de que, tanto la alta gerencia, como todos los trabajadores de la compañía están comprometidos con la administración de los riesgos, llega el momento de diseñar el marco de referencia, estipulando el rol que cada empleado desempeñará en el proceso de gestión, y así mismo, destinando los recursos que lo soportarán. Al final, el marco debe implementarse, evaluarse y monitorearse.

### 1.2.1.3. Proceso.

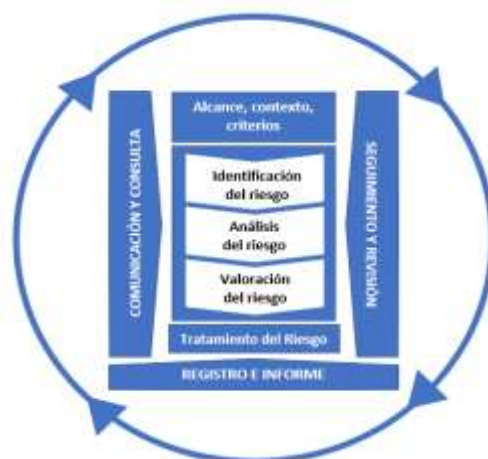


Figura 2. Proceso para la gestión de riesgos (2018). Elaboración propia con base en

<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>

Es importante resaltar que el proceso de gestión de riesgos propuesto por la ISO 31000: 2018, aunque se presenta de manera secuencial, en la realidad es un proceso iterativo, es decir que puede variar de acuerdo al contexto y la actualidad de la compañía. A continuación se describe el proceso:

- **Comunicación y consulta:** El objetivo de este paso es notificar la importancia de la gestión del riesgo a todas las partes interesadas en el proceso.
- **Alcance, contexto y criterios:** En este momento, la empresa debe adecuar el proceso de gestión a su condición; de modo que, pueda realizarse una evaluación eficiente, y posteriormente, puedan establecerse los tratamientos necesarios para manejarlo.
- **Evaluación del riesgo:** El proceso de evaluación según la ISO 31000: 2018 presenta las siguientes sub etapas:

1. **Identificación del riesgo:** En esta etapa se deben explorar, concretar y describir, aquellos riesgos que sean una amenaza para los objetivos institucionales de la empresa. Para ello, esta debe tener en cuenta las fuentes de riesgos tangibles e intangibles, las causas que originan el riesgo y las consecuencias que los mismos traen. Además, la norma menciona, que se deben identificar oportunidades, amenazas, debilidades y fortalezas en este proceso de reconocimiento.

2. **Análisis del riesgo:** El objetivo de esta fase es entender la esencia y la características de los riesgos; esto, en función de la probabilidad de ocurrencia del evento, las circunstancias en la cual podría darse, del impacto que tendría el mismo a la hora de manifestarse y de los controles y la eficacia de los mismos.

3. **Valoración del riesgo:** La intención de este subproceso es ser la base de la toma de decisiones de la empresa con respecto a las amenazas que enfrenta. Algunos ejemplos de este tipo de decisiones podrían ser los siguientes: que la empresa no haga nada frente a los riesgos, pensar en los tratamientos que pudiese implementar o simplemente seguir con los controles que inicialmente existían.



4. Tratamiento del riesgo: Aquí, es donde la empresa elige la mejor opción para hacer frente a los riesgos. La opción elegida debe ser planificada detalladamente antes de implementarla, y al haber aplicado el tratamiento deberá hacerse una evaluación de la importancia e impacto del mismo. Además, es importante hacer un análisis de costo-beneficio, con el objetivo de escoger la mejor opción; es decir, aquella que da mejores beneficios, y que cuesta menos realizar.

En conclusión, la ISO 31000 muestra como factibles tratamientos: eliminar directamente el riesgo no volviendo a realizar la actividad riesgosa, compartir el riesgo a través de pólizas de seguro, pensar e implementar una solución que disminuya el impacto en caso de que se manifieste el evento riesgoso, o una que disminuya la probabilidad de que ocurra el mismo.

- Seguimiento y revisión: este paso tiene el propósito de “asegurar y mejorar la calidad y la eficacia del diseño, la implementación y los resultados del proceso”. (Delgado, 2018)
- Registro e informe: debe documentarse de manera final e informar a través de los diferentes medios a todos los interesados en el proceso de gestión.

### **1.3. Riesgos financieros**

El riesgo tiene relación con la psicología, la estadística y la experiencia alcanzada a través de los años. En finanzas, se entiende como riesgo financiero a la probabilidad de que un activo genere rendimientos distintos a los esperados (Bacca & Marcelino, 2016). Por otra parte, BBVA (2015) define como riesgo financiero a la incertidumbre que presenta el rendimiento de toda inversión y se debe principalmente a: cambios producidos en el sector en el que opera, a la escasa estabilidad de los mercados financieros y a la incapacidad de pago de una de las partes involucradas en la inversión. A primera vista, la definición anterior trata los términos riesgo e incertidumbre como uno mismo, pero es importante resaltar que existe diferencia entre estos dos; ya que el primero es aquel evento que puede medirse y controlarse con base en información y datos históricos, a diferencia del segundo, del cual no se tiene información previa suficiente para poder realizar un análisis que permite administrarlo.

Actualmente, el riesgo financiero se encuentra clasificado en cuatro tipologías: el riesgo operacional, el riesgo de liquidez, el riesgo de crédito y el riesgo de mercado. Sin embargo, De Lara (2005) enmarca dentro de estos el riesgo legal y el riesgo reputacional. De este modo, cada activo financiero, estará expuesto a uno o más de estos riesgos, dependiendo de su naturaleza.

**1.3.1. Riesgo de crédito.** En el capítulo número dos de la circular externa 100 de 1995, la SFC (Superintendencia Financiera de Colombia) describe el riesgo de crédito como: “la posibilidad de que una entidad incurra en pérdidas y se disminuya el valor de sus activos, como consecuencia de que un deudor o contraparte incumpla sus obligaciones”. Por su parte el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea definió el riesgo de crédito como “la posibilidad de pérdida debido al incumplimiento del prestatario o la contraparte, en operaciones directas, indirectas o contingentes que conlleva el no pago, el pago parcial o la falta de oportunidad en el pago de las obligaciones pactadas”. Lo anterior, presentado en su primer acuerdo de capital Basilea I, el cual debe su origen a la crisis financiera y al cierre del banco Bankhaus Herstatt en Alemania en 1974 (Jiménez, 2008).

En palabras más sencillas, el riesgo de crédito es la exposición a la pérdida por motivos del no pago de las obligaciones asumidas por la contraparte de la entidad. Según Samaniego (2008), el riesgo de crédito se puede clasificar en dos: el de impago y el derivado de la calidad crediticia, esto es:

- **Riesgo de impago:** es la exposición que se tiene al no pago de los intereses o el principal de un activo por parte del emisor.
- **Riesgo de crédito:** riesgo a cambios en la calidad o calificación crediticia del emisor del activo.

**1.3.2. Riesgo de liquidez.** Tras estallar la crisis financiera del 2007 y la quiebra del reconocido banco estadounidense Lehman Brothers (aun cuando éste mantenía adecuados niveles de capital), surge la necesidad de gestionar la liquidez del sistema financiero. En respuesta a esta necesidad, se establece el nuevo acuerdo de capital (Basilea II) en donde se define el riesgo de liquidez como: “la capacidad que tiene una entidad para financiar incrementos en su nivel de activos y a su vez cumplir con sus obligaciones de pago a

vencimiento, sin caer en la quiebra”. (Capel, 2019). Dicho de otro modo, el riesgo de liquidez es la probabilidad de obtener pérdidas por no disponer de la liquidez suficiente para cumplir con sus obligaciones de pago; una definición similar tiene la Superintendencia financiera de Colombia, explicando al riesgo de liquidez, como: “la contingencia de no poder cumplir plenamente, de manera oportuna y eficiente los flujos de caja esperados e inesperados, vigentes y futuros, sin afectar el curso de las operaciones diarias o la condición financiera de la entidad”. Como Blanco et al. (2015), exponen en su libro *Gestión de Entidades Financieras*, este riesgo puede explicarse en función del activo o del pasivo, como:

- **Riesgo de liquidez de mercado:** es la posibilidad de incurrir en pérdidas por la incapacidad de convertir en líquido un activo mediante su venta o enajenación.
- **Riesgo de liquidez de fondos:** es la posibilidad de hacer frente al vencimiento de un pasivo o su refinanciación a un coste razonable. Este es un riesgo inherente a la actividad bancaria, dónde se conceden créditos a largo plazo y se financian depósitos a corto plazo.
- **Riesgo de Liquidez sistémico:** es la posibilidad de sufrir contagios en otras instituciones a través de las infraestructuras de los mercados.

**1.3.3. Riesgo operativo.** Durante el desarrollo de Basilea II no sólo se dio inicio a la gestión del riesgo de liquidez, sino que también se introdujo en este, el riesgo operativo; dicho riesgo fue incluido como una de las variables clave para el cálculo del RMC (requerimiento mínimo de capital), por esta razón (Flores, 2008) expone que Basilea lo define como: “la posibilidad de sufrir pérdidas debido a la inadecuación o fallos de los procesos, personas o sistemas internos o bien a causa de acontecimientos externos”; esta definición también engloba el riesgo legal pero excluye los riesgos estratégico y de reputación. Por su parte, la Superintendencia Financiera de Colombia en su capítulo XXIII de la circular básica contable y financiera, define el este riesgo como: “la posibilidad de incurrir en pérdidas por deficiencias, fallas o inadecuaciones, en el recurso humano, los procesos, la tecnología, la infraestructura o por la ocurrencia de acontecimientos externos, esta definición incluye el riesgo legal y reputacional, asociados a tales factores”

## 1.4. Riesgo de mercado

De Lara (2005) define riesgo de mercado como la pérdida potencial del valor de un activo, debido a la variación de uno (o más) de los denominados factores de riesgo: el precio de las acciones, las tasas de interés, el precio de los commodities y los tipos de cambio. Por lo tanto, al riesgo de mercado se le puede asociar con cuatro tipos de riesgos distintos: el riesgo de precio de las acciones, el riesgo de precio de los commodities, el riesgo de tasa de interés y el riesgo de tipo de cambio. De modo que, dependiendo del tipo de activo, el riesgo de mercado estará descrito por uno de los cuatro riesgos mencionados, o lo que es lo mismo, será originado por uno de los factores de riesgo. De modo que, cuando se habla de riesgo de mercado debemos tener presente que es un concepto que engloba otros riesgos.

**1.4.1. Riesgos de tipo de interés.** El riesgo de tipo de interés es descrito como la exposición que tienen algunos activos financieros a los movimientos de las curvas de interés; este, suele afectar mayormente a las entidades financieras debido a la naturaleza de sus operaciones. Un vocablo que está estrechamente relacionado con este riesgo es la estructura temporal de tipos de interés (ETTI), para el cual diferenciamos dos clases riesgo:

- **Riesgo direccional:** desplazamientos paralelos, en otras palabras, son cambios proporcionales a lo largo de la curva de tipos.
- **Riesgo de curva:** es el cambio en la pendiente forma de la ETTI, se trata, por tanto, de desplazamientos no paralelos (Feria, 2005).

**1.4.2. Riesgos de tipos de cambio.** Considera el riesgo al que se encuentra expuesto un inversionista que posee instrumentos financieros en moneda extranjera, ya sea a corto o a largo plazo; esto a causa de la modificación que pudiera tener la paridad de la moneda nacional frente a monedas foráneas. Este riesgo se subdivide en riesgo de transacción y riesgo de traslación.

- **Riesgo de transacción:** dado cuando la variación en el tipo de cambio afecta el flujo de ingresos derivados de operaciones corrientes.
- **Riesgo de traslación:** derivado de la incidencia en las cuentas del balance, tanto de activo como de pasivo (Feria, 2005).

**1.4.3. Riesgo de precio.** Baca y Marceline (2016) definen el riesgo de precio como “el grado en el cual el precio futuro de una acción se desvía de su precio esperado”. En otras palabras, el riesgo de precio es la probabilidad de que el valor de un instrumento financiero, ya sea acciones, derivados, índices bursátiles o commodities, tenga un comportamiento contrario a la posición tomada por un inversionista.

## **1.5. Medición del riesgo de mercado**

La medición del riesgo de mercado es una herramienta de alto valor en la dirección, puesto que funciona como un instrumento de auditoría y control que permite provisionar el direccionamiento del riesgo al que se encuentra comprometido el inversor. A lo largo de la historia se han enmarcado particularmente dos eventos que han modificado fuertemente la medición del riesgo de mercado en el sector financiero. El primero de ellos ocurrió en 1996, en el Banco Internacional de Pagos (BIS) que junto con el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea propuso nuevas políticas y procedimientos en la medición y control para riesgos financieros. Y el segundo evento tuvo lugar en 1994, en el banco estadounidense J.P. Morgan el cual hizo público Riskmetrics, un documento técnico que conceptualiza el valor en riesgo. (Salinas, 2009).

El comité de supervisión bancaria de Basilea recomienda algunas metodologías para que las empresas hagan una correcta gestión de los riesgos financieros. Este comité sugiere que toda compañía debe tener destinado un capital mínimo para asegurar que una pérdida extrema en la que ésta incurra, no afecte su solvencia y posteriormente su funcionamiento. En el caso del riesgo de mercado dicha medición se hace calculando la pérdida máxima a la que se exponen los activos en los cuáles el inversor haya colocado su dinero (Basel, 2019). Actualmente, las técnicas más usadas para determinar esa pérdida máxima son el Value at Risk (VaR) y el Expected ShortFall (ES).

**1.5.1 Value at Risk.** El VaR fue publicado por primera vez por el Group of Thirty (1994) y es una medida estadística ampliamente utilizada en la valoración de riesgos financieros que estima la pérdida máxima que podría registrar el precio de un activo en un intervalo de tiempo dado y con un cierto nivel de confianza, siempre y cuando el mercado se encuentre en condiciones normales. Para entender mejor el concepto de valor en riesgo VaR (conocido en ocasiones como VeR) es clave comprender los elementos que hay detrás de él;

en este caso, el nivel de confianza, que se refiere a la probabilidad en que la estimación estadística a la que queremos llegar sea correcta; normalmente, los niveles de confianza más usados para hallar el valor en riesgo de un activo, son el 95% y el 99%. Por ende, es probable que la estimación a la que se llega con las diferentes metodologías del VaR no sea totalmente correcta. Como se mencionó en líneas anteriores, esta medida solo funcionará en épocas en donde el mercado se encuentra en normalidad; valga decir épocas de volatilidad controlada y de relativa calma en los mercados financieros. Al respecto, Jorion (2007) resalta que la estimación del VaR marca el límite entre los eventos normales y los eventos catastróficos; por ende, las instituciones pueden estar expuestas a pérdidas mayores a las calculadas por esta medida.

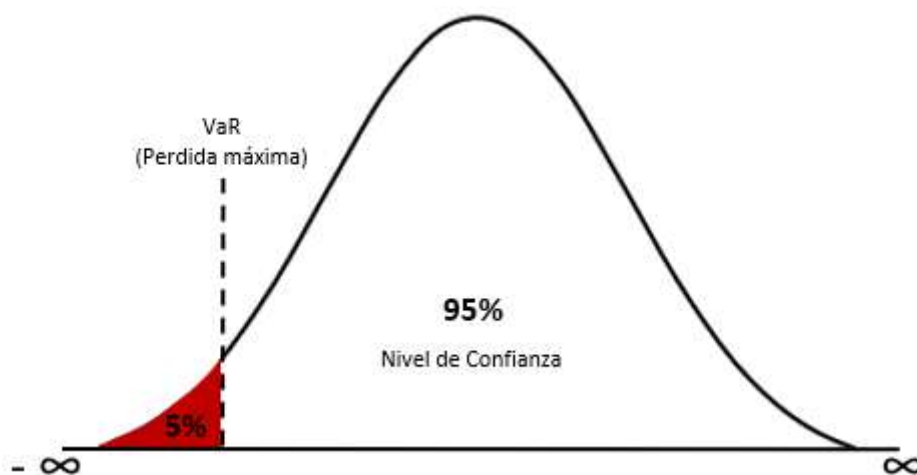


Figura 3. Gráfico de distribución de pérdidas y ganancias (2019). Elaboración propia

En la figura anterior titulada “gráfica de distribución de pérdidas y ganancias”; la línea punteada sobre el eje x (horizontal) señala la pérdida máxima estimada por el VaR, y a su vez marca el límite entre las pérdidas normales calculadas y las pérdidas extremas que pueda llegar a tener el activo; por consiguiente, el área sombreada de rojo, señala las veces que la pérdida en el valor del activo (por ejemplo: una acción) superó el VaR estimado. Además, es posible observar que se muestra el 95% como nivel de confianza, lo que significa que máximo en el 5% de los casos, la pérdida en el valor del activo debería sobrepasar el VaR. Entonces, si por ejemplo, la estimación del VaR arrojó como pérdida máxima \$8 al día, 95 de cada 100 veces la pérdida debería ser menor o igual que este valor. En caso de que la pérdida diaria fuese mayor en más de 5 veces se tendría que revisar el modelo o el proceso usado en la estimación de la medida en aras de que se tenga un pronóstico más exacto, consecuentemente una mejor medición, y por ende, una mejor gestión del riesgo.

Actualmente existen diversos métodos para calcular el valor en riesgo de un activo; a continuación se describirán tres: el método paramétrico, el método de simulación histórica y el método de montecarlo.

**1.5.1.1. Método Paramétrico.** Este método se basa en la hipótesis de que el comportamiento de los datos de una serie de rendimientos se aproxima a una distribución normal.

La distribución normal, según Pértegas y Pita (2001) fue reconocida por primera vez en el siglo XVII por el francés Abraham de Moivre, fue popularizada y estudiada a profundidad posteriormente por el alemán Carl F. Gauss en el siglo XVIII. Esta distribución se caracteriza entre otras cosas, por estar descrita por dos parámetros, la media ( $\mu$ ) y la desviación ( $\sigma$ ). Es importante resaltar, que una distribución de probabilidad es una función que relaciona un determinado dato o suceso, con la probabilidad de que este ocurra; y la manera más sencilla de entenderla es haciendo uso del histograma.

Continuando con lo anterior, el método paramétrico, hace un proceso de normalización a la serie histórica de rendimientos de una acción, de modo que cada dato “x” puede estandarizarse a una distribución “z” con desviación ( $\sigma$ ) igual a 1, y de media ( $\mu$ ) igual a 0; así que, el valor z representará el número de desviaciones estándar para un nivel de confianza determinado. Matemáticamente, el valor estandarizado de la variable x, se halla de la siguiente forma:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Donde  $\mu$  es la media de la serie histórica de datos y  $\sigma$  la desviación estándar de la misma. Generalmente se pretende llegar a un valor z estandarizado; de tal forma, que a través de la tabla estadística de normalidad pueda encontrarse -a partir del nivel de significancia ( $1-\alpha$ ) y del valor del mismo z- la probabilidad de obtener un valor menor o igual al dato parametrizado “z”. No obstante, el método paramétrico calcula el valor z de manera invertida; de modo que, a partir de la probabilidad (el nivel de significancia) pueda obtenerse dicho valor.

Siendo así, y teniendo en cuenta lo mencionado hasta este punto, el método paramétrico se estima de la siguiente manera:

$$VaR = VA * Z * \sigma\sqrt{t}$$

Donde,

VA: El valor actual de la inversión inicial

Z: Inverso de la distribución normal estándar en el punto  $(1 - \alpha)$

$\alpha$ : Nivel de confianza

$\sigma\sqrt{t}$ : La volatilidad del activo

Finalmente, cabe resaltar la importancia de que todos los factores de la fórmula estén en la misma unidad de tiempo; es decir, en días, meses, años, etc. Destacando específicamente la volatilidad del activo ( $\sigma$ ); ésta, debe ser multiplicada por el factor  $(\sqrt{t})$ , siendo t la periodicidad a la cual quiera llevarse. Por ejemplo, si se tiene un dato de volatilidad mensual y quiere anualizarse deberá multiplicarse dicho valor por la  $\sqrt{12}$ .

*1.5.1.1.1. Volatilidad.* Antes de 1952 las personas que invertían en instrumentos de renta variables (por ejemplo: acciones) en la bolsa de valores, elegían aquellos activos que representaban un mayor nivel de rentabilidad esperada. No obstante, fue en este mismo año cuando el economista y ganador del premio Nobel: Henry Markowitz, hizo una serie de publicaciones, en donde propuso; entre otras cosas, que un inversionista debería evaluar el riesgo al que está expuesta su inversión y de acuerdo a esto y a la propia rentabilidad esperada, se tendría que elegir si invertir o no en la misma. De modo que para invertir de forma racional, si dos activos tienen la misma rentabilidad, el inversionista deberá escoger y poner su dinero en aquel que tenga un menor nivel de riesgo.

La medida que Markowitz propuso para estimar este riesgo fue la volatilidad. Actualmente, la volatilidad se define como el indicador que mide los movimientos en el precio de un activo, y se obtiene a través del cálculo de la desviación (Caixa, s.f.). La desviación es una medida de dispersión que mide el promedio de las distancias entre cada valor de una serie y su valor central; tal que, entre más alto sea este valor, más alejados están del valor central o promedio, de modo que, puede concluirse que los datos son muy dispersos y por ende, el activo



es más volátil. A continuación, se describirán las diferentes formas de hallar esta medida y se mostrará la forma de calcularla.

- Desviación estándar clásica: es caracterizada por suponer una volatilidad constante durante el periodo calculado ( $t$ ) y asignar a cada dato la misma ponderación. La desviación estándar, puede ser vista como la raíz cuadrada de la varianza ( $\sigma^2$ ), esto debido a que para una muestra de la rentabilidad de un activo  $r_1, r_2, \dots, r_i$  con  $n$  datos y media  $\mu$ , se tendrá una varianza dada por la sumatoria de las diferencias al cuadrado entre cada dato y su media dividida en  $n - 1$ , es decir:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(r_i - \mu)^2}{n - 1}$$

Lo cual conlleva a considerar la desviación estándar como:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(r_i - \mu)^2}{n - 1}}$$

Donde,

$r_i$ : rentabilidad del activo

$\mu$ : promedio de la rentabilidad del activo

$n$ : número de datos

- Supuesto media cero: según investigaciones realizadas por De Lara Haro (2005), se ha demostrado que es mejor considerar únicamente el cuadrado de los rendimientos ignorando su media, esto debido a que la media de los rendimientos tiende a cero; lo que nos lleva a una forma más sencilla para el cálculo de la volatilidad histórica

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(r_i)^2}{n}}$$

- Volatilidad EWMA: la volatilidad media móvil ponderada exponencialmente (EWMA por sus siglas en inglés) es definida por Páez (2006) como una medida de volatilidad dinámica que calcula la desviación estándar de las rentabilidades de una acción en el

día  $t$ , a través de un promedio móvil ponderado parametrizado por un factor de decaimiento  $\lambda$ , lo que permite asignar una mayor ponderación a los datos más recientes. Además, EWMA es comúnmente usada para pronosticar la volatilidad que un activo tendrá en el día  $t + 1$ . El parámetro ( $\lambda$ ) se encarga de dar más peso o importancia a los datos más recientes de la muestra, y se usa con el objetivo de capturar variaciones fuertes en los precios de las acciones, de modo que, el pronóstico sea más acertado en épocas de alta volatilidad. A continuación, se presenta la fórmula para calcular la volatilidad EWMA en el día  $t$ , y la fórmula para hallarla en el día  $t+1$ .

$$\sigma_{tewma} = \sqrt{(1 - \lambda) \sum_{t=1}^T \lambda^{t-1} r^2}$$

$$\sigma_{t+1ewma} = \sqrt{[\lambda \sigma_{t+1}^2 + (1 - \lambda)r^2]}$$

- Modelos ARCH: La volatilidad en los activos financieros representa heterocedasticidad, que se define como la ausencia de una varianza constante en una serie de rendimientos, esto se debe a que la volatilidad es un fenómeno en el que se presentan periodos de alta turbulencia seguido de periodos en calma; en palabras más simples, las series de rendimientos que presentan los activos financieros no son series de tiempo estacionarias, por cual es necesario utilizar modelos ARCH (Heterocedasticidad Condicional Autoregresiva). Estos modelos están diseñados especialmente para modelar y pronosticar volatilidad, permitiendo en gran medida la captura de la heterocedasticidad en los rendimientos.

Los modelos ARCH aparecen en los años 80, como una nueva clase de procesos estocásticos expuestos por Robert F. Engle, para los cuales la varianza condicionada del histórico no es constante, sin embargo, sigue dependiendo del cuadrado de los rendimientos. Para 1986 aparece Tim P. Bollerslev, quien se encarga de generalizar los modelos ARCH, ello mediante el uso de la varianza condicional que no solo depende de los cuadrados de los rendimientos sino que además, emplea las varianzas condicionales de periodos anteriores, esto bajo el nombre de modelos de GARCH (Heterocedasticidad Condicional Autorregresiva Generalizada). En 1991 Nelson D. B desarrollo los modelos EGARCH, en los cuales se formula una varianza condicional

que no se comporta de forma simétrica para los rendimientos negativos y positivos como supone el modelos GARCH; así mismo, se han desarrollado más modelos que buscan dar solución a las limitaciones que han presentado los demás métodos de heterocedasticidad (Casas & Cepeda, 2008).

Considerando un modelo regresivo ARCH de orden uno

$$\sigma_{t+1}^{ewma} = \sqrt{[\lambda\sigma_t^2 + (1 - \lambda)r^2]}$$

Siendo, según De Lara Haro (2005),  $r_t$  el rendimiento actual del activo y  $r_{t-1}$  el rendimiento del periodo anterior, adicionando a esto  $\varepsilon_t$  como un error aleatorio denominado ruido blanco, que se comporta como una distribución normal de media cero y varianza uno, este error supone una homocedasticidad en cuyo caso es contemplado como un regresión ordinaria; como ya se mencionó el modelo GARCH propone una variable residual en el tiempo lo que permite asumir la heterocedasticidad, por ello tenemos:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha\varepsilon_{t-1}^2 + \beta\sigma_{t-1}^2$$

Donde,

$\sigma_t$ : varianza condicional de los errores aleatorios

$\omega > 0$  y  $\alpha, \beta \geq 0$  son parámetros que garantizan varianza positiva

$\alpha + \beta < 1$ : denominada persistencia

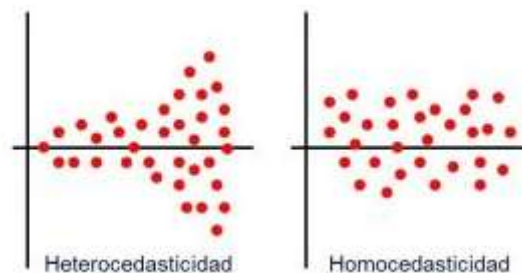


Figura 4: Heterocedasticidad versus Homocedasticidad (s.f.). Tomado de:

<http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rv/n1/n1a03.pdf>

**1.5.1.2. Método de Simulación histórica.** Es un método no paramétrico que no asume una distribución en particular para los datos (toma la distribución que sigue el histórico estudiado), por lo que se elimina la necesidad de estimar y trabajar con medias y volatilidades, y se omite el supuesto de normalidad que el método paramétrico contempla.

En este sentido, el VaR para un nivel de confianza determinado, es el k-ésimo percentil de la muestra de rendimientos del activo. Así, una apropiada elección del periodo muestral de los históricos incrementará la precisión de la estimación del valor en riesgo. Este es el método más fácil de estimar el valor en riesgo; no obstante, Claro (2006) señala como principal desventaja el hecho de que este “supone que ningún evento que no haya ocurrido en el pasado podrá ocurrir en el futuro”. A continuación, se muestra la fórmula con la que podemos hacer la estimación.

$$VaR = \text{Percentil del VaR} * VA$$

Dónde,

Percentil del VaR: Es el k percentil de los rendimientos del activo.

VA: El valor actual de la inversión inicial

$\alpha$ : nivel de confianza

k:  $(1-\alpha)$

**1.5.1.2.1. Percentil.** Es una medida de posición no central que indica, una vez ordenados los datos de menor a mayor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de observaciones. Los percentiles se encuentran divididos en 99 puntos y ordenados en 100 partes iguales, esto significa, que cada submuestra contienen la misma cantidad de elementos; es representado con la letra K. Para el percentil k-ésimo, donde la k toma valores del 1 al 99. El i % de la muestra son valores menores que él y el 100-i % restante son mayores (Galton, 1885a).

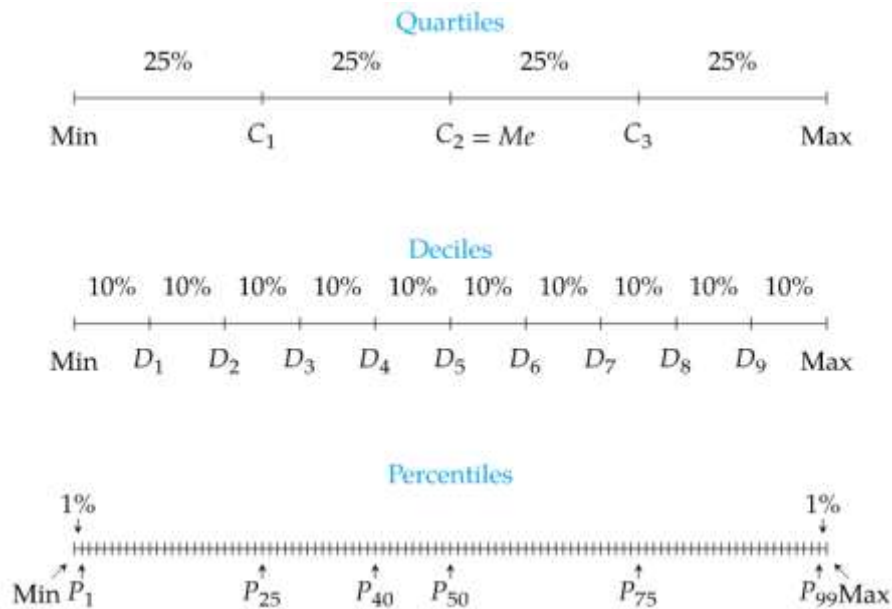


Figura 5: Distribución de los percentiles (2019). Tomado de: <https://cutt.ly/swFTYpj>

**1.5.1.3. Método de Montecarlo.** Según García et al. (2017) el método de Montecarlo puede considerarse como una combinación del método de simulación histórica y el paramétrico. Es un método en el cual se utiliza una distribución teórica y sus parámetros, además, McNeil et al. (2004) lo definen como la búsqueda de una función de pérdidas teórica que se ajuste al comportamiento histórico de los rendimientos del activo, con el fin de obtener el percentil de pérdidas al nivel de confianza requerido.

La simulación de Monte Carlo hace una descripción más realista del riesgo, ya que la distribución de los rendimientos del activo, plasma un abanico completo de todos los posibles escenarios en los que el mercado pueda estar. En pocas palabras, el método de montecarlo parametriza los rendimientos de un activo con base en la distribución que más se ajuste a su comportamiento histórico. Hasta este momento el método se hace muy parecido al paramétrico.

Una vez parametrizados los rendimientos, contempla (tal como lo hace la técnica de la simulación histórica) que el VaR en términos porcentuales no es más que el k-ésimo percentil de la distribución de pérdidas y ganancias. Por ende, el método de montecarlo, considera que el valor en riesgo se halla simplemente multiplicando dicho percentil por el valor actual de la inversión total hecha en el activo (VA).

$$VaR = \text{Percentil del VaR} * VA$$

Donde,

Percentil del VaR: el cual se obtiene a través del proceso de Wiener o el de distribución ajustada.

VA: Valor actual de la inversión

*1.5.1.3.1. Distribución ajustada.* La forma más común de aplicar la metodología de montecarlo es a través de la distribución ajustada. Tal como se mencionó en la descripción general del modelo, debe buscarse la distribución que más se ajuste al comportamiento mismo de los rendimientos históricos de la acción.

De manera frecuente se usa un simulador de riesgo que facilita este proceso; por ejemplo, el Risk Simulator el cual es una extensión de Microsoft Excel, en donde al ingresar una serie de rendimientos históricos del activo, hace un análisis que termina arrojando el tipo de distribución de probabilidad que más se adecúa a la muestra y los parámetros estadísticos de la misma.

Posteriormente, por medio de un proceso de iteración el simulador de riesgo crea n escenarios de rendimientos a los cuáles pueda llegar a tener el activo, y es de todos estos del que se escoge el k-ésimo percentil de acuerdo al nivel de confianza requerido, de manera, que se obtiene finalmente el VaR en términos porcentuales, y consecuentemente, el valor en riesgo del activo en término monetarios.

A continuación, algunas de las distribuciones que pueden tener los rendimientos de un activo y sus parámetros, en este caso distribuciones continuas:

<b>Nombre</b>	<b>Parámetros</b>
Laplace	Ubicación y Escala
Normal	Media y desviación estándar
Logística	Ubicación y Escala
Beta	Primera forme y Segunda Forma
Exponencial	Escala y Valor del umbral
Cauchy	Ubicación y Escala

Binomial	Número de ensayos y probabilidad del evento
t-student	Grados de libertad
Gamma	Forma, Escala y Valor Umbral
Chi cuadrado	Grados de libertad

Tabla 1. Probabilidades y sus parámetros (2019). Elaboración propia.

1.5.1.3.2. *Proceso de Wiener o Movimiento Geométrico Browniano (MGB)*. Es llamado browniano debido a que la varianza del modelo decrece continuamente con el tiempo, lo que permite descartar procesos con saltos repentinos, igualmente, supone que los rendimientos del activo están determinados por un componente determinístico y uno estocástico; por consiguiente, este modelo incorpora la hipótesis de independencia o no correlación entre las variaciones de los precio de un activo en el tiempo.

Según lo menciona De Lara (2005) la ecuación matemática que explica el proceso de Wiener es en principio:

$$\frac{ds}{s} \mu dt + \sigma dz$$

Donde,

$\frac{ds}{s}$ : Rendimientos del activo

$\mu$  : Media de los rendimientos.

$\sigma$  : Desviación estándar de los rendimientos.

$dz$ :  $\varepsilon_t * \sqrt{dt}$

Y por ende la fórmula deriva en:

$$\frac{ds}{s} = \mu dt + \sigma \varepsilon_t \sqrt{dt}$$

Siendo “ $\mu dt$ ” el componente determinístico de la fórmula y “ $\sigma \varepsilon_t \sqrt{dt}$ ” el componente estocástico o aleatorio, específicamente el número aleatorio  $\varepsilon$ . Por otra parte, el mismo De Lara cita que esta fórmula puede expresarse en términos discretos, quedando de la siguiente manera:

$$\frac{S_t - S_{t-1}}{S_{t-1}} = \mu\Delta t + \sigma\varepsilon_t\sqrt{\Delta t}$$

De modo, que al despejar el precio del activo en el tiempo t ( $S_t$ ) se obtiene la siguiente expresión:

$$S_t = S_{t-1}(\mu\Delta t + \sigma\varepsilon_t\sqrt{\Delta t})$$

Entonces, con la fórmula anterior podemos generar a través de sus diferentes componentes, incluyendo el factor aleatorio, escenarios hipotéticos de precios, haciéndolo de manera repetitiva, entre 5.000 y 10.000 veces; de manera que, estimar un nuevo precio para activo dependerá del valor obtenido en el periodo inmediatamente anterior.

Así, el percentil del VaR (o el VaR en términos porcentuales) se determinará después de crear una cantidad considerable de escenarios de precios del activo, a los cuales posteriormente se calcula el k-ésimo percentil de acuerdo al nivel de confianza requerido.

**1.5.2. Expected shortfall (ES).** De acuerdo a lo descrito por Ulloa y Uribe (2012) mientras que el VaR se enfoca en estimar la pérdida máxima cuando el mercado se encuentra condiciones normales, el ES tiene como objetivo cuantificar las pérdidas esperadas que se puedan dar en caso de que el mercado enfrente condiciones más extremas. El Expected Shortfall estima las pérdidas más allá del nivel de confianza establecido en el VaR; es decir, trabaja con las colas de la distribución de pérdidas. Para los retornos de un activo (expresados como una distribución continua)  $r_t$  la expresión está dada como una:

$$ES_\alpha = E(r|r > VaR_\alpha)$$

Desde el punto de vista de Becerra y Melo (2005) el ES puede entenderse como el promedio de  $(1-\alpha)$  % y puede ser calculado mediante del promedio de los valores que superan el VaR con nivel de confianza  $\alpha$ , por consiguiente el ES para una distribución continua, se expresa como:

$$ES_\alpha = E(r|r > VaR_\alpha) = \frac{1}{1 - F_R(VaR_\alpha)} \int_{VaR_\alpha}^U r f_r(r) dr$$



Donde,

$U$ : representa el extremo superior de los retornos

$F_R$  ( $VaR_a$ ) y  $f_R$  ( $r$ ): Pertenecen a la función de densidad y distribución de los retornos

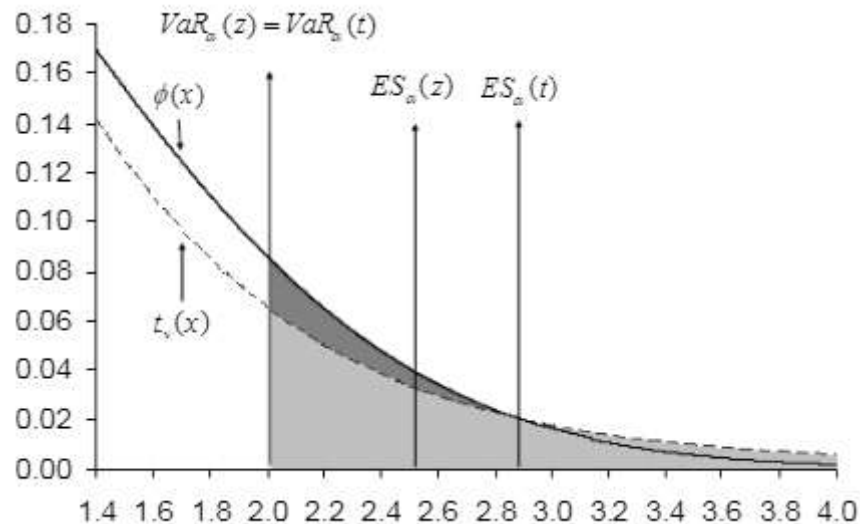


Figura 6: Diferencias entre el VaR y el ES (2005). Tomado de: Medidas de riesgo, características de medición: una aplicación del VaR y el ES la interbancaria de Colombia.

En la anterior gráfica se ven ejemplificadas las colas derechas para las funciones de densidad, con un VaR de 95% de confianza. En este caso la línea punteada representa un activo que sigue una distribución t-student estandarizada con 5 grados de libertad, y la línea sólida sigue una distribución normal con  $\mu = 0$  y  $\sigma = 1.225$ . Aun cuando ambos activos poseen el mismo VaR, su ES es distinta, esto debe a que este modelo toma en cuenta la forma de la distribución condicional, por lo que la cola del activo que sigue la distribución t-student es mayor.

## 1.6. Valores extremos

El primer autor que se refirió a la temática “valores extremos” fue Nicolás Bernoulli, quien mediante su doctorado en 1709 logró introducir algunas ideas sobre los datos extremos existentes en las colas de una distribución de probabilidad. Tiempo después, Denis Poisson diseñó en 1838 una función de distribución de probabilidad que se especializaba en calcular y modelar aquellos eventos que tenían una baja probabilidad de ocurrencia, a los cuales

denominaba sucesos raros (Hernández, 2016). Seis décadas más tarde, en 1898 el economista ruso Ladislaus von Bortkiewicz en su libro *La Ley de los Números Pequeños*, resaltó la importancia de la teoría desarrollada por Poisson (que hasta ese entonces no había tenido trascendencia), destacando que los eventos que ocurran con frecuencia baja en una población, si se ajustan a una distribución de Poisson.

Actualmente, Ibáñez (2011) da una definición básica de lo que son los valores extremos, y los precisa como el valor máximo y mínimo de una serie de datos. En contraparte, Albeveiro, et. al (2005) refieren que dicha definición debe ser un poco más compleja, específicamente, porque resulta tedioso saber a qué se llama “extremo”; y mencionan, por ejemplo, que estos valores pueden tener diferentes denotaciones; tales como, “excepcional”, “sorprendente” o “catastrófico” dependiendo, de lo lejano del dato respecto a su media. Además, los mismos autores, agregan que debido a lo subjetivo que es definir un valor como extremo, se hace necesario darles atributos mediante propiedades estadísticas, mecanismos, técnicas, etc.

La naturaleza de los valores extremos, implica escasez de datos, por ende la teoría de valores extremos, en definitiva, se encarga de extrapolar; es decir, estimar cantidades más allá de las vistas en la muestra original (Cano, 2010). Por todo lo anterior, existe todo un marco teórico que evalúa las propiedades de los estimadores y las propiedades de ciertos estadísticos de orden, el cual se denomina teoría asintótica.

**1.6.1. Teoría asintótica de valores extremos.** Al respecto, De Haan y Ferreira (2006) mencionan que la teoría asintótica de los valores extremos para una muestra de datos está relacionada con el comportamiento límite del máximo ( $Y_n = \text{Máx} \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ) y mínimo ( $Y_1 = \text{Mín} \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ) cuando  $n$  tiende a infinito.

Así, si  $X_1, X_2, \dots, X_n$  son variables aleatorias independientes con función de distribución acumulativa común  $F(x)$ , es decir,  $F(x) = P(X_i \leq x)$ . La distribución del máximo y del mínimo estarán dadas por:

$$H_n(x) = F(x)^n$$

Función del máximo

$$Ln(x)1 - (1 - F(x))^n$$

Función del mínimo

### 1.7. Teoría de valores extremos (TVE)

Según lo explican Velasco y Hernández (2007) las funciones descritas inicialmente, para el comportamiento del máximo y el mínimo de una muestra, no eran completas, ya que la función  $F(x)$  incluida en la fórmula es desconocida, al intentar hallarla por medio de técnicas estadísticas la distribución resultante podría llegar a ser incorrecta, y al estar elevadas las fórmulas a la “n”, una pequeña diferencia en  $F(x)$ , podría derivar en vastas divergencias para  $Ln(x)$  y  $Hn(x)$ . Al respecto, los autores afirman que la solución indicada para determinar la distribución del máximo y del mínimo es estudiar la distribución asintótica de los extremos, cuando  $n$  es grande.

De este modo, cuando  $n$  tiende a infinito a las distribuciones de máximos y mínimos se le conocen como distribuciones asintóticas de valores extremos; para lo cual se tiene respectivamente:

$$L(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} L_n(a_n + b_n x) = \lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \frac{(Y_1 - a_n)}{b_n} \leq x \right\}$$

$$H(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} H_n(A_n + B_n x) = \lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \frac{(Y_1 - a_n)}{B_n} \leq x \right\}$$

Donde  $a_n$ ,  $b_n$ ,  $A_n$  y  $B_n$  son las respectivas sucesiones numéricas de máximos y mínimos. Hernández & Velasco (2007)

La solución de la que hablan Hernández y Velasco, es la que se conoce como distribución asintótica de valores extremos y fue encontrada por Fisher, Tippett y Gnedenko; siendo este último el que sentó las bases matemáticas de la teoría de valores extremos.

Precisamente, con respecto a la TVE, Velasco y Hernández (2007) afirman que “está relacionada con aspectos probabilísticos y estadísticos relacionados con valores muy altos o muy bajos en una sucesión de variables aleatorias”. Y agregan, además, que el interés principal de la teoría está en los valores más altos o más bajos de la variable que esté siendo objeto de

estudio, en palabras más sencillas, la atención está centrada en los eventos o datos que estén ubicados en la cola de la distribución.

En la actualidad, la TVE tiene dos enfoques prácticos para analizar los valores extremos: Bloques Máximos y Pico sobre el umbral (POT por sus siglas en inglés)

**1.7.1. Bloques máximos.** Este enfoque consiste en identificar el evento de mayor valor durante un segmento de tiempo específico, para ello, la muestra de datos a analizar debe ser dividida en una cantidad  $n$  de bloques del mismo tamaño  $j$ , y de cada uno de estos se debe extraer el dato máximo (o mínimo). Becerra y Melo (2005)

Por ejemplo, si se tiene como muestra los retornos de un año para  $x$  acción, se puede dividir la muestra en submuestras de cuatro meses, de las cuales se extrae el valor máximo (o mínimo), y con estos se hace el análisis de valores extremos.

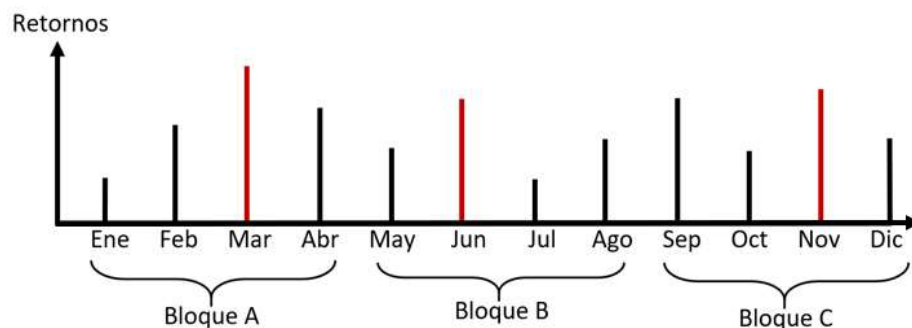


Figura 7. Bloques y valores máximos (2019). Elaboración propia

Según Fisher & Tippett (1928) y Gnedenko (1943) los datos extraídos se ajustan a una distribución límite perteneciente a la familia de las distribuciones generalizadas de valor extremo.

Al hacer uso de este enfoque, es posible reducir la correlación existente entre los eventos extremos, además de que permite observar valores a lo largo de toda la muestra. No obstante, este método ignora las observaciones extremas que se encuentran en el mismo bloque; más aún, el incremento del tamaño del bloque significa una reducción de datos, lo que podría llevar a generar probables pérdidas de información.

**1.7.1.1. Distribución generalizada de valores extremos (GEV).** De acuerdo a lo descrito por García (2004), si se tiene un conjunto de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas ( $X_{1,n} \geq X_{2,n} \geq \dots \geq X_{n,n}$ ), con una función de distribución común  $F$ , en la que  $M_n = (X_{1,n}) = \max(X_{1,n}, X_{2,n}, X_{3,n} \dots, X_{n,n})$  de la cual se busca hallar la función de distribución del máximo. Según el teorema de Fisher y Tippet (1928), sobre leyes límites de máximos, “si existe una constante  $b_n > 0$ , otra constante  $a_n \in \mathfrak{R}$  y una función no degenerada  $G$  de esta forma”:

$$\frac{M_n - a_n}{b_n} \xrightarrow{d} H \text{ cuando } n \rightarrow \infty \text{ o sea:}$$

$$H(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{M_n - a_n}{b_n} \leq x \right) \quad x \in R$$

El máximo estandarizado tiende a una distribución límite no degenerada  $H(x)$  siempre que el número de observaciones de la serie tienda a infinito. Y es precisamente donde  $F$  encuentra en el máximo dominio de atracción de  $G$ .

De igual forma, García (2004) afirma que de la expresión de la distribución asintótica  $G$  se derivan las tres distribuciones más importantes de la teoría de valores extremos (Distribución de Gumbel, Distribución de Frechet y la Distribución de Weibull), las que demostraron que los máximos normalizados convergen hacia la denominada distribución generalizada de valores extremos:

$$G_{\xi; a_n; b_n} = \left\{ - \left( 1 + \xi \frac{x - a_n}{b_n} \right)^{-1/\xi} \right\} \quad \xi, a_n \in R \text{ y } b_n > 0$$

Donde,  $a_n$  es el parámetro de localización,  $\xi$  es el parámetro de forma o índice de cola y  $b_n$  es el parámetro de escala. El parámetro  $\xi$  es quizá el más importante ya que indica que tan gruesa es la cola de la distribución; de modo que, entre más gruesa la cola, más alto será este índice, así:

$\xi > 0$	Distribución de Frechet	Distribuciones con cola gruesa
$\xi < 0$	Distribución de Weibull	Distribuciones con cola finita o suave
$\xi = 0$	Distribución de Gumbel	Distribuciones con cola media

Tabla 2. Distribuciones de valores extremos (2004). Tomado de: La teoría del valor extremo: una aplicación al sector asegurador.

**1.7.2. Picos sobre el umbral (POT).** Es el método mediante el cual se realiza una dicotomía de elección de valores extremos, es decir se determina un umbral y se supone que los datos que exceden el umbral siguen una distribución paramétrica conocida como distribución generalizada de Pareto (Cardozo, 2004). La siguiente ilustración ejemplifica el método POT, en donde se señala el umbral como una línea punteada ( $u$ ), y en donde de los doce datos solo 3 de ellos sobrepasan el umbral y serán tomados como datos extremos.

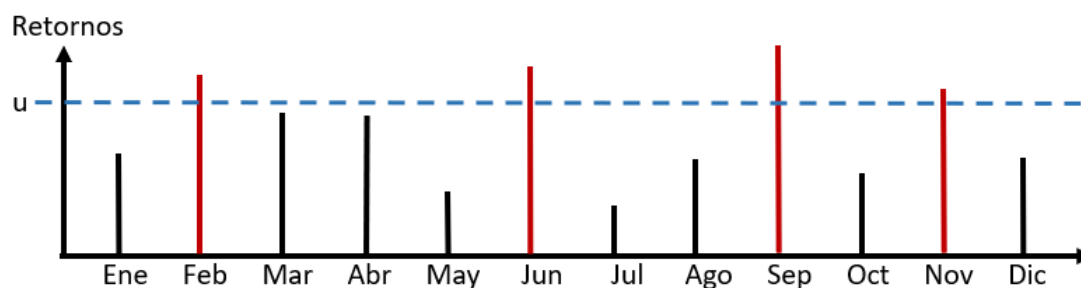


Figura 8. Picos sobre el umbral (2004). Tomado de: La teoría del valor extremo: una aplicación al sector asegurador.

El inconveniente que puede presentar este método, es la selección adecuada del umbral. García (2004), lo presenta como una elección entre la varianza y el sesgo, puesto que si disminuye el umbral, se incrementa el número de datos a modelar y la estimación de cola sería más precisa (con menor varianza) pero más sesgada, por otro lado, si se reduce el número de datos estimando un mayor umbral se reduce el sesgo, pero la estimación de la pérdida adquiriría una mayor volatilidad al estimarse con un menor número de datos.

**1.7.2.1. Distribución generalizada de Pareto (GPD).** Como lo indica García (2004) ésta distribución permite ajustar los datos “ $x$ ” que exceden el umbral “ $u$ ”, de modo que los excesos serán  $y = x - u$ . Teniendo en cuenta que es una distribución condicional dado que está sujeta a que el dato seleccionado como valor extremo debe exceder el valor denotado como el umbral; por esta razón, se aplica el teorema de la probabilidad condicionada y se obtiene a

partir de la división de la probabilidad conjunta entre la probabilidad del suceso condicionante la siguiente expresión, la cual se ajusta a los datos que exceden el umbral establecido:

$$F^u(x) = F^u(y + u) = P\left(x - u \leq \frac{y}{x} > u\right) = \frac{F(x) - F(u)}{1 - F(u)} \text{ para } 0 \leq y \leq X_0 - u$$

Donde “x” representa la rentabilidad del activo y “y” el exceso que está por encima del umbral “u”. A partir de la función de distribución condicionada; y, teniendo “ε” como índice de cola, y β como parámetro de escala se obtiene la Distribución Generalizada de Pareto:

$$F^u(x) = P(X - u \leq y | X > u) \approx W_\varepsilon(y) \text{ para } 0 \leq y \leq x_0 - u$$

$$W_{\gamma(x)} = 1 - (1 + \gamma \cdot x)^{-1/\gamma} \begin{cases} x > 0 \text{ si } \gamma > 0 \\ 0 < x < \frac{1}{|\gamma|} \text{ si } \gamma < 0 \end{cases}$$

$$W_0(x) = 1 - e^{-x}, x \geq 0$$

Y, Tal y como es el caso de la distribución generalizada de valores extremos, la Distribución Generalizada de Pareto (GPD) puede separarse en tres familias de distribuciones diferentes Distribución de probabilidad Pareto, Beta y Exponencial.

**1.7.2.2. Selección adecuada del Umbral.** Como se mencionó anteriormente una adecuada elección del Umbral garantiza o no una mejor calidad del método POT. Por ello, Melo (2005) menciona que una forma de hallar este valor “u” es partiendo de la media de los excesos “e(u)”, la cual por definición es:

$$e(u) = E(X - u | X < u)$$

La cual puede definirse también de la siguiente forma:

$$e(u) = \frac{\beta(u)}{1 - \xi} = \frac{\beta_0 + \xi u}{1 - \xi}$$

En donde los parámetros toman valores tales que,  $\beta = \beta_0 > 0$  y  $\xi < 1$ .

Melo (2005) cita que una manera de seleccionar este umbral es a través de un análisis gráfico entre “e(u)” y “u”; ello, a partir del cálculo del promedio de la serie de excesos sobre un umbral, el cual hace el papel de estimador del valor esperado de dichos excesos; de modo que:

$$\widehat{e(\tilde{u})} = \frac{1}{N\tilde{u}} \sum_{i=1}^{N\tilde{u}} (r_{(i)} - \tilde{u})$$

Donde  $r_{(1)}, r_{(2)}, \dots, r_{(N\tilde{u})}$  son aquellos datos que excedieron el umbral pre establecido,  $\tilde{u} < r_{max}$  y  $r_{max}$  es el dato más alto de la muestra.

Entonces, a partir del estimador calculado se debe analizar el comportamiento gráfico de las parejas ordenadas. De manera que, en las áreas donde la gráfica sea aproximadamente lineal podría ubicarse el umbral (u) indicado.

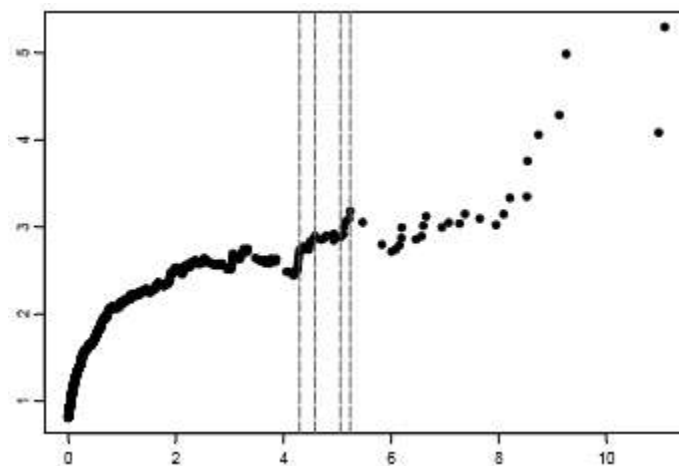


Figura 9. Gráfico de la media de los excesos para las variaciones del precio de un activo (2005). Tomado de: Medidas de riesgo, características y técnicas de medición: una aplicación del VaR y el ES a la tasa interbancaria de Colombia.

Entonces, en la figura anterior, en el eje “x” se pueden ver los posibles umbrales y en el eje “y” se muestra el estimador asociado a cada uno de estos umbrales. Además, es posible observar dos intervalos verticales entre líneas punteadas: uno entre (4,2 - 4,6) y el otro entre (5,1 - 5,3), las cuales corresponden precisamente a las zona en donde la gráfica muestra un comportamiento o tendencia lineal. (Melo, 2005).



## 1.8. Backtesting

Desde 1996, el VaR se convirtió en una medida de riesgo ampliamente utilizada, que permite ser calculado mediante diferentes métodos como se mencionó anteriormente, sin embargo, es importante evaluar el desempeño de la metodología utilizada con el fin de mantener controles internos del riesgo de mercado. Como lo indica la SFC en el capítulo 21 de la normativa básica contable y financiera, “las pruebas de desempeño Backtesting tiene como propósito determinar la consistencia, precisión y confiabilidad de los valores en riesgo estimados, mediante la comparación de estos con las ganancias o pérdidas efectivamente realizadas”. Las metodologías para el cálculo del VaR son evaluada en función del número de fallos ocurridos para determinado periodo; por ejemplo, para un VaR con nivel de confianza del 95% y un periodo de 100 día, es de esperar que las pérdidas no excedan el VaR en más del 5%, es decir solo podrán haber 5 días en donde la pérdida supera el VaR; dicho seguimiento debe realizarse por lo menos con un periodo superior a un año y temporalidad diaria.

El comité de Basilea sugiere tres zonas de riesgo de acuerdo al número de fallas que presente el desempeño del VaR, las cuales muestran diferentes factores multiplicativos para los requerimientos de capital (Becerra y Melo, 2005).

<b>Zona</b>	<b>Número de fallas para un período de 250 días</b>	<b>Factor multiplicativo</b>
Verde	4 o menos	3.00
Amarilla	5	3.40
	6	3.50
	7	3.65
	8	3.75
	9	3.85
Roja	10 o más	4.00

Tabla 3. Las tres zonas del comité de Basilea (1997). Tomado de: Basel Committee on Banking Supervision (1996a).

Con base en los resultados obtenidos en el backtesting, la SFC exige aumentar el factor multiplicativo con un ajuste que busca corregir las debilidades encontradas, de que los resultados reflejen de la mejor manera el valor en riesgo de las entidades.

**1.8.1 Prueba de kupiec.** Una de las formas más sencillas de comprobar la eficacia del VaR es la propuesta presentada por Paul H. Kupiec en 1995, la cual permite calcular la

proporción de periodos en los que la muestra puede presentar pérdidas superiores a las previstas por la medida estadística, de manera que sea igual al nivel de significancia, que para las recomendaciones que establece Basilea será del 1%.

La prueba de Kupiec plantea las siguientes hipótesis:

$H_0$ : estadístico de prueba  $\leq$  valor crítico

$H_1$ : estadístico de prueba  $>$  valor crítico

Para poder rechazar o aceptar la hipótesis se procede a calcular el valor crítico utilizando la distribución chi cuadrado invertida, que toma como parámetros la probabilidad, que en este caso es el nivel de significancia y los grados de libertad. El estadístico de prueba (Edp) se calcula, y es este valor el que permite rechazar o aceptar las hipótesis planteadas; si el Edp es mayor que el valor crítico se rechaza  $H_0$ , lo que quiere decir que en las condiciones actuales, el modelo usado para hallar el Valor en Riesgo no es del todo correcto, y por ende, se debe proceder a realizar una revisión y posterior mejora del mismo. En pocas palabras, si el modelo utilizado en el cálculo de las pérdidas por exposición a riesgo de mercado es confiable, consistente y preciso, el valor crítico calculado no puede ser mayor que el estadístico de prueba.

$$Edp = -2 \cdot \ln\{(1 - P)^{(n-x)} \cdot P^x\} + 2 \cdot \ln\{(1 - \hat{P})^{(n-x)} \cdot \hat{P}\}$$

Donde,

P: nivel de significancia

x: número de fallas

n: cantidad de días de backtesting

$$\hat{P} = \frac{x}{n}$$

## Capítulo 2: Teoría de valores extremos, un enfoque práctico

Habiendo dado ya una introducción teórica de la TVE; a continuación, se procede a realizar un ejercicio práctico con el fin de que el lector comprenda mejor la forma en la que puede calcular por medio de los dos enfoques de la teoría de valores extremos, las pérdidas no

esperadas en los precios de las acciones más volátiles del índice bursátil Colcap. El Colcap, es el más importante índice bursátil de la Bolsa de Valores De Colombia; el cual está compuesto por al menos, las 20 acciones con mayor capitalización en el mercado accionario colombiano.

El proceso del ejercicio práctico comprenderá las siguientes etapas: En primer lugar, se tomarán las 24 acciones que forman parte en la actualidad (al trimestre 2019-3) de dicho índice. A continuación, se hará una selección de acciones que cumplan con los siguientes criterios: Alta bursatilidad, alta volatilidad y alta curtosis. Hay que acotar, que se tienen presentes dichos criterios para la selección, debido a que, la teoría de valores extremos debe usarse, precisamente, para modelar y estimar las pérdidas de aquellos activos que posean estas características, la alta bursatilidad y volatilidad garantizan que sus precios constantemente están en movimiento; por ende, pueden presentarse niveles altos de riesgo, y en consecuencia, habrá más exposición a tener pérdidas o ganancias potencialmente altas. Por otra parte, el hecho de que el comportamiento histórico de los rendimientos de las acciones posea alta curtosis, asegura que hay una gran concentración de datos de rentabilidad en un pequeño rango y que existen pocos datos extremos presentes en la cola de la distribución.

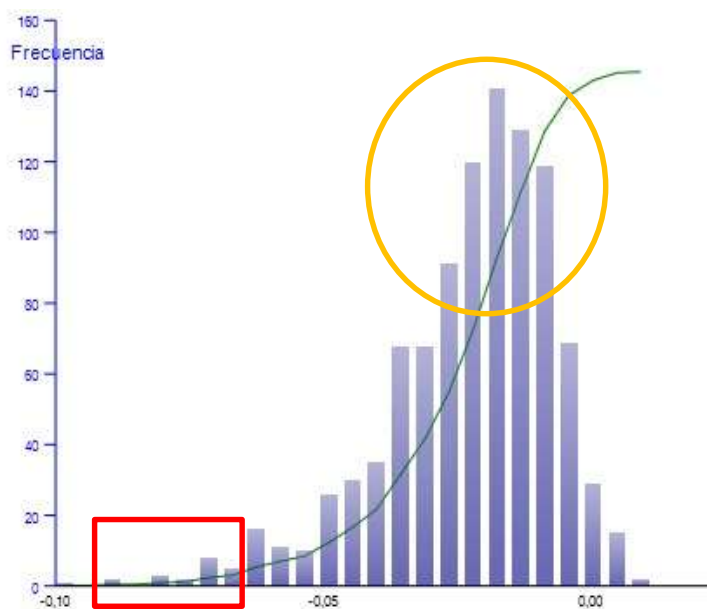


Figura 10. Distribución de probabilidad (2019). Elaboración propia a través de Risk Simulator.

Por ejemplo, en la distribución de probabilidad de la gráfica anterior, podemos ver los rendimientos de una acción, en el eje x se encuentran los rendimientos negativos y en el eje y la probabilidad de ocurrencia de los mismos. Esta distribución presenta alta curtosis, ya que hay una gran cantidad de datos de rentabilidad concentrados en la zona del círculo naranja los

cuales tienen una alta probabilidad de ocurrencia, a diferencia de los datos concentrados en la cola de la distribución (cuadro rojo) los cuales son escasos, de pérdidas extremas y tienen una baja probabilidad de ocurrencia.

Entonces, para hacer la selección de acciones se cuenta con los datos de rentabilidad histórica de las 24 acciones que hacen parte del Colcap entre el 02 de enero del 2015 y el 21 de junio del 2019, de manera que, las acciones que se modelarán y a las cuales se les hallará las pérdidas no esperadas serán aquellas que cumplan con los tres criterios que previamente fueron mencionados. A continuación, se describirá en detalle, el desarrollo del proceso de selección:

Las acciones que actualmente forman parte del índice Colcap son las siguientes:

Acción	Tiquet	Acción	Tiquet
Avianca Preferencial	PFAVH	Davienda preferencial	PFDVND
Banco de Bogotá	BOGOTA	Ecopetrol	ECOPETL
Bancolombia Ordinaria	BCOLO	Empresa de telefonía de Bogotá	ETB
Bancolombia Preferencial	PFBCOLO	Éxito	EXITO
Bolsa de Valores de Colombia	BVC	Grupo Argos Ordinaria	GRUPOARG
Canacol Energy	CNEC	Grupo Argos Preferencial	PFGRUPOA
Celsia	CELSIA	Grupo Aval Preferencial	PFAVAL
Cemargos Ordinaria	CEMARGOS	Grupo de Energía de Bogotá	GEB
Cemargos Preferencial	PFCEMARG	Grupo Sura	GRUPOSUR
Cemex Latam Holdings	CLH	Grupo Sura Preferencial	PFGRUSU
Concreto	CONCONC	Interconexión eléctrica SA	ISA
Corporación Financiera Colombiana	CORFICOL	Nutresa	NUTRESA

Tabla 4. Acciones que hacen parte del índice Colcap en el tercer trimestre del 2019 (2019). Elaboración propia.

El primer criterio que se tendrá en cuenta, es la alta bursatilidad. Para ello, se tomará como base el Índice de Bursatilidad Accionaria que publica la Superintendencia Financiera de Colombia en su portal web mensualmente, en el cual asigna a cada acción que cotiza en la Bolsa de Valores de Colombia un valor entre 0 y 10 que califica su nivel de bursatilidad o negociación (siendo 10 la mejor calificación y 0 la peor), y posteriormente los clasifica en una de las siguientes categorías: bursatilidad alta, media, baja o mínima. La imagen siguiente muestra un extracto de la mencionada publicación:

# Índice de bursatilidad accionario

Superintendencia Financiera  
de Colombia

Fecha de reporte: 2019-06-30

Reporte del Índice de Bursatilidad Accionaria			
Fecha de reporte: 2019-06-30			
Código del título valor	Nombre del título valor	Clasificación	Valor del indicador
COC04PAAO008	AO ECOPEPETROL S.A.	IBA - ALTA BURSATILIDAD	10.00000
COB07PAAO015	ADP BANCOLOMBIA S.A.	IBA - ALTA BURSATILIDAD	9.99332
COE15PAAO001	AO INTERCONEXION ELECTRICA S.A. E.S.P.	IBA - ALTA BURSATILIDAD	9.00089
COT13PAAO004	AO GRUPO DE INVERSIONES SURAMERICANA S.A.	IBA - ALTA BURSATILIDAD	9.04807
COD38PAAO005	AO CEMENTOS ARGOS S.A. - (ANTES CEMENTOS DEL CARIBE)	IBA - ALTA BURSATILIDAD	8.85045
COT29PAAO012	ADP GRUPO AVAL ACCIONES Y VALORES	IBA - ALTA BURSATILIDAD	8.82402
COB07PAAO012	AO BANCOLOMBIA	IBA - ALTA BURSATILIDAD	8.75080
COT00PAAO003	AO GRUPO ARGOS S. A. (ANT. INV. ARGOS - CIA DE CEMENTOS ARG S.A.)	IBA - ALTA BURSATILIDAD	8.67153
COG31PAAO003	AO ALMACENES EXITO S.A.	IBA - ALTA BURSATILIDAD	8.53197
COE01PAAO018	AO GRUPO DE ENERGIA DE BOGOTA S.A. E.S.P. ANTES (EMPRESA DE ENE	IBA - ALTA BURSATILIDAD	8.30582
PAI59PAAO005	ADP AVIANCATACA HOLDING S.A.	IBA - ALTA BURSATILIDAD	8.38098
COB51PAAO005	ADP SIN DERECHO A VOTO BANCO DAVIVIDNA	IBA - ALTA BURSATILIDAD	8.25337

Figura 11. Extracto del índice de bursatilidad accionario publicado en el mes de junio por la SFC (2019).

Tomada de: <https://www.superfinanciera.gov.co/publicacion/80420>

En este caso, se tendrá en cuenta la clasificación publicada el día 30 de junio de 2019. Y como se dijo anteriormente, pasarán el filtro de selección aquellas que estén clasificadas en la categoría de alta bursatilidad. A continuación el listado de las 17 que cumplieron este criterio:

Nombre del título valor	Valor del indicador	Clasificación
ECOPEPETROL	10,00	IBA-ALTABURSATILIDAD
BANCOLOMBIA PREFERENCIAL	9,60	IBA-ALTABURSATILIDAD
INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA SA	9,06	IBA-ALTABURSATILIDAD
GRUPO SURA ORDINARIA	9,05	IBA-ALTABURSATILIDAD
CEMARGOS ORDINARIA	8,86	IBA-ALTABURSATILIDAD
GRUPO AVAL PREFERENCIAL	8,82	IBA-ALTABURSATILIDAD
BANCOLOMBIA ORDINARIA	8,75	IBA-ALTABURSATILIDAD
GRUPO ARGOS ORDINARIA	8,57	IBA-ALTABURSATILIDAD
ÉXITO	8,53	IBA-ALTABURSATILIDAD
GRUPO DE ENERGÍA DE BOGOTÁ	8,40	IBA-ALTABURSATILIDAD
AVIANCA PREFERENCIAL	8,36	IBA-ALTABURSATILIDAD
DAVIVIENDA PREFERENCIAL	8,25	IBA-ALTABURSATILIDAD
GRUPO SURA PREFERENCIAL	8,16	IBA-ALTABURSATILIDAD
CORPORACIÓN FINANCIERA COLOMBIANA	8,03	IBA-ALTABURSATILIDAD
GRUPO NUTRESA	7,99	IBA-ALTABURSATILIDAD
CEMEX LATAM HOLDINGS	7,63	IBA-ALTABURSATILIDAD
CELSIA	7,43	IBA-ALTABURSATILIDAD

Tabla 5. Acciones del Colcap clasificadas en la categoría alta bursatilidad. Elaboración propia con base en el índice de bursatilidad accionaria del 30 de junio del 2019 publicado por la Superintendencia Financiera de Colombia.

El siguiente criterio a tener en cuenta es la alta volatilidad. En este caso, se calculó la volatilidad histórica EWMA de las 17 acciones resultantes del filtro anterior entre las fechas mencionadas inicialmente. Se decidió usar este método para calcular la volatilidad debido a que esta, como se dijo en el enfoque teórico, a diferencia de la volatilidad o desviación clásica no da el mismo peso a todos los datos de la muestra de rendimientos, sino que da mayor peso a los datos más recientes de la misma; por ende, el dato obtenido tendrá más en cuenta el comportamiento reciente de los precios de la acción, que el de periodos anteriores. A continuación se describe el proceso con el que se puede calcular la volatilidad por medio de la metodología EWMA.

En primer lugar se deben organizar los precios de cierre de la acción de la fecha más antigua a la más reciente. Luego, debe crearse una columna denominada:  $i$ ; la cual, numerará los precios de cierre; de manera que, al dato más reciente se le asignarán el valor 1, al del día  $n-1$  se le asignará el 2, al día  $n-2$  se le asignará el 3, y así sucesivamente. Y posteriormente, se deben sacar los rendimientos de los precios de dicha acción. En este caso, se calculó la rentabilidad ( $r_i$ ) por medio de la siguiente fórmula:

$$r_i = \ln\left(\frac{\text{precio } n}{\text{precio } n - 1}\right)$$

Siendo  $n$ , el precio de la acción en el día actual; y  $n-1$ , el precio de la acción en el día anterior.

Teniendo ya la columna de los respectivos rendimientos, se debe crear una nueva columna en donde cada uno de estos datos  $r_i$  se elevarán al cuadrado; obteniendo así el factor  $r_i^2$ .

A continuación, se calculará en una columna nueva, el factor  $\lambda^{(i-1)}$ , siendo  $\lambda$ , el elemento que da el peso o ponderación a cada dato de rentabilidad.  $\lambda$  es un valor entre 0 y 1, el cual puede tomar valor inicialmente de 0.96; pero, más adelante se mostrará la forma de optimizarlo.

Luego, en una nueva columna se debe multiplicar el factor  $r_i^2$  por el factor  $\lambda^{(i-1)}$ . Al hacer esto se obtendrá una tabla como la que se muestra a continuación:

i	Fecha	Precio de cierre	ri	ri^2	$\lambda^{(i-1)}$	$\lambda^{(i-1)} * ri^2$
10	10/06/2019	2.815				
9	11/06/2019	2.800	-0,53%	0,00%	0,721390	0,000021
8	12/06/2019	2.725	-2,72%	0,07%	0,751447	0,000554
7	13/06/2019	2.765	1,46%	0,02%	0,782758	0,000166
6	14/06/2019	2.790	0,90%	0,01%	0,815373	0,000066
5	17/06/2019	2.820	1,07%	0,01%	0,849347	0,000097
4	18/06/2019	2.870	1,76%	0,03%	0,884736	0,000273
3	19/06/2019	2.930	2,07%	0,04%	0,921600	0,000395
2	20/06/2019	2.980	1,69%	0,03%	0,960000	0,000275
1	21/06/2019	3.020	1,33%	0,02%	1,000000	0,000178

Tabla 6. Proceso del cálculo de la volatilidad dinámica EWMA (2019). Elaboración propia.

La figura anterior corresponde al cálculo de la volatilidad EWMA de la acción de Ecopetrol en un rango de precios de cierre comprendido entre el 10 de junio y el 21 de junio del 2019. Allí, puede verse el orden específico que deben seguir las fechas y los datos de numeración i. Como es posible observar, el orden de los datos es muy importante, debido a que esto permitirá que al dato de rentabilidad más reciente se le asigne una mayor ponderación a la hora del hacer el cálculo de la volatilidad. La fórmula general de EWMA, se le aplica a los datos de la columna verde, a continuación se recuerda dicha fórmula:

$$\sigma_{EWMA} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \lambda^{(i-1)} * r_i^2\right) * (1 - \lambda)}$$

En otras palabras, el resultado de EWMA se obtendrá calculando la raíz cuadrada del producto entre: la sumatoria de los datos de la columna verde de la tabla 6 y el factor  $1 - \lambda$ . Así:

$$\sigma_{EWMA} = \sqrt{(0.0023) * (1 - 0,96)} = 0,8999\%$$

De forma que, el dato 0,8999% corresponde a la volatilidad promedio ponderada de la acción de Ecopetrol entre el 10 de junio y el 21 de junio del 2019.

Ahora bien, si se desea obtener un dato más acertado de volatilidad es necesario optimizar el valor del parámetro  $\lambda$ . A continuación el proceso para lograr dicha optimización:

Primero, con base en la tabla creada anteriormente, debe crearse una nueva columna que se denominará Varianza, en la cual se calcule en cada fila la siguiente fórmula:

$$\text{Varianza } i = ((1 - \lambda) * (r_i^2 * \lambda^{(i-1)})) + \text{Varianza } i-1$$

En segundo lugar, se adiciona una columna más, en dónde se calculará un nuevo factor que incluye la multiplicación del hallado en el paso anterior y el valor del parámetro  $\lambda$ . Y como última columna a adicionar, se tiene aquella en donde se hará el siguiente cálculo

$$(r_i^2 - \lambda \text{Varianza } i)^2$$

De modo que, después de haber hecho las tres columnas adicionales, se obtendrá una tabla como la siguiente:

i	Fecha	Precio de cierre	r <sub>i</sub>	r <sub>i</sub> <sup>2</sup>	λ <sup>(i-1)</sup>	λ <sup>(i-1)</sup> *r <sub>i</sub> <sup>2</sup>	Varianza i	λ * varianza i	(r <sub>i</sub> <sup>2</sup> - λ*varianza i) <sup>2</sup>
10	10/06/2019	2.815							
9	11/06/2019	2.800	-0,53%	0,00%	0,721390	0,000021	0,000001	0,000001	0,000000
8	12/06/2019	2.725	-2,72%	0,07%	0,751447	0,000554	0,000023	0,000022	0,000001
7	13/06/2019	2.765	1,46%	0,02%	0,782758	0,000166	0,000030	0,000028	0,000000
6	14/06/2019	2.790	0,90%	0,01%	0,815373	0,000066	0,000032	0,000031	0,000000
5	17/06/2019	2.820	1,07%	0,01%	0,849347	0,000097	0,000036	0,000035	0,000000
4	18/06/2019	2.870	1,76%	0,03%	0,884736	0,000273	0,000047	0,000045	0,000000
3	19/06/2019	2.930	2,07%	0,04%	0,921600	0,000395	0,000063	0,000060	0,000000
2	20/06/2019	2.980	1,69%	0,03%	0,960000	0,000275	0,000074	0,000071	0,000000
1	21/06/2019	3.020	1,33%	0,02%	1,000000	0,000178	0,000081	0,000078	0,000000

Tabla 7. Proceso de optimización del parámetro  $\lambda$  (2019). Elaboración propia.

Para obtener un mejor parámetro  $\lambda$  y consecuentemente un mejor resultado en la estimación de la volatilidad EWMA, debe calcularse el valor de error RMSE, el cual deberá ser -lógicamente- tan pequeño como sea posible. La fórmula de este error es:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_i^2 - \lambda \text{Varianza})^2}{n}}$$



En otras palabras, el valor del error RMSE debe calcularse sacando la raíz cuadrada del cociente entre: la sumatoria de los datos de la última columna del cuadro (color naranja) y la cantidad total de datos de la muestra de precios de cierre, en este ejemplo: 10. De modo que matemática el RMSE, en este caso resultaría ser:

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (r_i^2 - \lambda Varianza)^2}{n}\right)} = \sqrt{\left(\frac{0,00000082}{10}\right)} = 0,0002857$$

Finalmente, para obtener un parámetro  $\lambda$  optimizado, debe resolverse un problema de programación lineal, en donde el objetivo es minimizar el valor de  $\lambda$  haciendo variar el valor del RMSE. Una opción que puede usarse para lograr esto, es la herramienta de excel: SOLVER. Así.

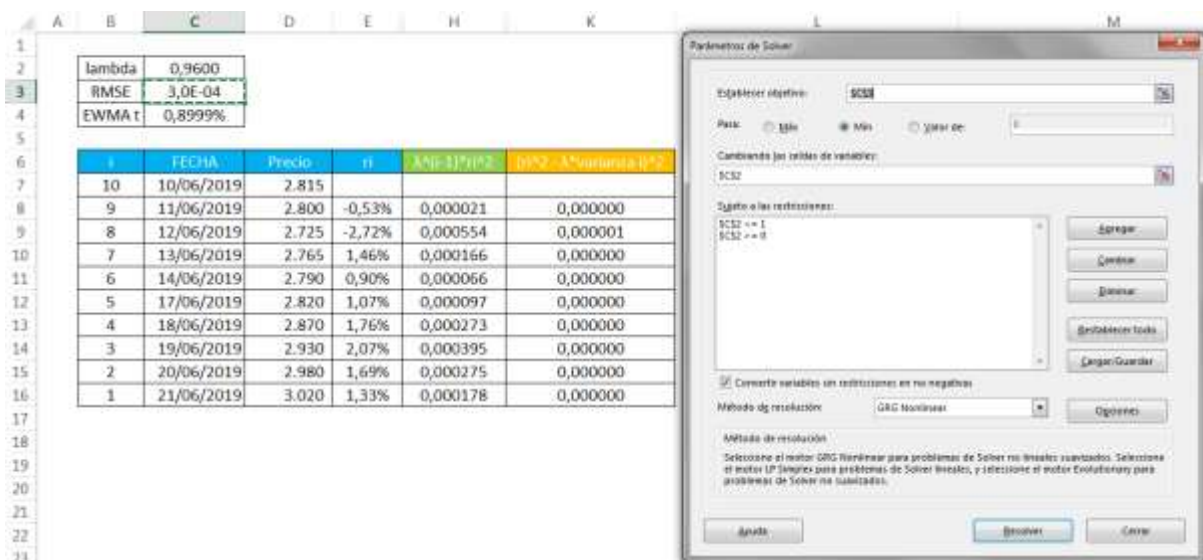


Figura 12. Proceso de optimización del parámetro  $\lambda$  a través de la herramienta de Excel Solver (2019).

Elaboración propia.

En la anterior imagen puede verse entonces que, la celda objetivo es el error RMSE (C3), en donde se debe minimizar el valor de este, haciendo variar o iterar el parámetro  $\lambda$  (Celda C2), agregando para este dos restricciones: la primera, que el valor de  $\lambda$  sea mayor que 0 y que a su vez, este sea menor que 1.

	Sin Optimizar	Optimizado
$\lambda$	0,9600	0,8584
RMSE	3,01E-04	2,79E-04
$\sigma_{EWMA}$	0,8999%	1,3984%

Tabla 8. Resultados de la optimización del parámetro  $\lambda$  en el caso ejemplo de la acción de Ecopetrol (2019).

Elaboración propia.

El cuadro anterior resume los resultados obtenidos en el cálculo de la volatilidad EWMA en la acción de Ecopetrol entre el 10 de junio y el 21 de junio del 2019, y muestra, en una columna los valores calculados con un parámetro  $\lambda$  sin optimizar, al cual se le da un valor inicial de 0.96 y expone otra columna con los resultados obtenidos después de la optimización hecha con la herramienta SOLVER, en donde el parámetro  $\lambda$  obtuvo un valor de 0.85. De esta manera, puede concluirse la optimización del parámetro, el error ahora es menor y el resultado de volatilidad resultó en este caso ser mayor.

Entonces, de la manera descrita anteriormente en el ejemplo de Ecopetrol se calcularon las volatilidades de las 17 acciones que fueron calificadas con alta bursatilidad. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Nombre del título valor	Volatilidad EWMA
ECOPETROL	1,81%
BANCOLOMBIA PREFERENCIAL	1,22%
INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA SA	1,24%
GRUPO SURA ORDINARIA	0,98%
CEMARGOS ORDINARIA	1,17%
GRUPO AVAL PREFERENCIAL	1,22%
BANCOLOMBIA ORDINARIA	1,36%
GRUPO ARGOS ORDINARIA	1,20%
ÉXITO	1,23%
GRUPO DE ENERGÍA DE BOGOTÁ	0,86%
AVIANCA PREFERENCIAL	5,14%
DAVIVIENDA PREFERENCIAL	1,14%
GRUPO SURA PREFERENCIAL	1,14%
CORPORACIÓN FINANCIERA COLOMBIANA	1,36%
GRUPO NUTRESA	0,85%
CEMEX LATAM HOLDINGS	2,50%
CELSIA	1,12%

Tabla 9. Volatilidad EWMA de las 17 acciones más bursátiles de índice Colcap (2019). Elaboración Propia.

Continuando con la selección de las acciones con las que se va a trabajar el enfoque práctico del presente proyecto, el siguiente criterio a tener en cuenta es la alta volatilidad. En este caso es posible observar que la mayor volatilidad la tiene la Acción Preferencial de Avianca, por lo que esta será la primera en ser seleccionada bajo este criterio. Para seleccionar las demás, se calculará el valor promedio de las desviaciones EWMA (exceptuando la de Avianca), y todas aquellas que superen dicho valor, serán denominadas acciones de alta volatilidad y las que estén debajo de este; serán calificadas con baja volatilidad.

Nombre del título valor	Volatilidad EWMA	Clasificación	Promedio de las volatilidades
AVIANCA PREFERENCIAL	5,1372%	ALTA VOLATILIDAD	1,27%
CEMEX LATAM HOLDINGS	2,5020%	ALTA VOLATILIDAD	
ECOPETROL	1,8075%	ALTA VOLATILIDAD	
CORPORACIÓN FINANCIERA COLOMBIANA	1,3635%	ALTA VOLATILIDAD	
BANCOLOMBIA ORDINARIA	1,3609%	ALTA VOLATILIDAD	
INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA SA	1,2354%	BAJA VOLATILIDAD	
ÉXITO	1,2334%	BAJA VOLATILIDAD	
BANCOLOMBIA PREFERENCIAL	1,2214%	BAJA VOLATILIDAD	
GRUPO AVAL PREFERENCIAL	1,2191%	BAJA VOLATILIDAD	
GRUPO ARGOS ORDINARIA	1,1982%	BAJA VOLATILIDAD	
CEMARGOS ORDINARIA	1,1710%	BAJA VOLATILIDAD	
DAVIVIENDA PREFERENCIAL	1,1404%	BAJA VOLATILIDAD	
GRUPO SURA PREFERENCIAL	1,1377%	BAJA VOLATILIDAD	
CELSIA	1,1171%	BAJA VOLATILIDAD	
GRUPO SURA ORDINARIA	0,9762%	BAJA VOLATILIDAD	
GRUPO DE ENERGÍA DE BOGOTÁ	0,8577%	BAJA VOLATILIDAD	
GRUPO NUTRESA	0,8525%	BAJA VOLATILIDAD	

Tabla 10. Acciones calificadas con alta volatilidad (2019). Elaboración propia.

De modo que en el proceso de selección, se seguirán teniendo en cuenta las siguientes 5 acciones: Avianca Preferencial, Cemex, Ecopetrol, Corficolombiana y Bancolombia Ordinaria.

Finalmente, el último criterio de selección que se tendrá en cuenta es la alta curtosis. La siguiente tabla muestra el valor del exceso de curtosis de la misma muestra de rendimientos con la que se calculó la volatilidad EWMA de cada una de las cinco acciones que siguen en el proceso de selección:

Nombre del título valor	Exceso del curtosis
AVIANCA PREFERENCIAL	21,25
CEMEX LATAM HOLDINGS	23,84
ECOPETROL	3,20
CORPORACIÓN FINANCIERA COLOMBIANA	19,16
BANCOLOMBIA ORDINARIA	1,99

Tabla 11. Valor del exceso de curtosis de las acciones con alta volatilidad del índice Colcap (2019). Elaboración propia.

Para saber cuáles de estas cinco acciones serán las que finalmente se tomarán para ejemplificar la TVE, se calculará el promedio del exceso de curtosis de las mismas; y, aquellas acciones que tengan un valor de exceso de curtosis que superen el promedio serán categorizadas como alta curtosis, y las que estén por debajo del mismo, serán catalogadas como baja curtosis. Así:

Nombre del título valor	Exceso del curtosis	Clasificación	Promedio de los excesos de curtosis
CEMEX LATAM HOLDINGS	23,84	ALTA CURTOSIS	13,89
AVIANCA PREFERENCIAL	21,25	ALTA CURTOSIS	
CORPORACIÓN FINANCIERA COLOMBIANA	19,16	ALTA CURTOSIS	
ECOPETROL	3,20	BAJA CURTOSIS	
BANCOLOMBIA ORDINARIA	1,99	BAJA CURTOSIS	

Tabla 12. Acciones calificadas con alta curtosis (2019). Elaboración propia

Así, se ha concluido entonces, el proceso de selección de las acciones a las cuáles se les hallarán las pérdidas máximas no esperadas por exposición al riesgo de mercado mediante la teoría de valores extremos. Estas son: Avianca Preferencial, Cemex Latam Holdings y Corporación Financiera Colombiana.

Nombre del título valor	Indicador de Bursatilidad	Volatilidad EWMA	Exceso de curtosis
AVIANCA PREFERENCIAL	8,36	5,14%	21,25
CORPORACIÓN FINANCIERA COLOMBIANA	8,03	1,36%	19,16
CEMEX LATAM HOLDINGS	7,63	2,50%	23,84

Tabla 13. Acciones con las que se trabajarán los dos enfoques de la teoría de valores extremos (2019).

Elaboración propia

A continuación, se mostrará en detalle el proceso de cálculo del valor en riesgo a través del enfoque de los bloques máximos de la teoría de valores extremos de las tres acciones seleccionadas.

## 2.1. Método de los bloques máximos.

**2.1.1. Acción Preferencial de Avianca.** Para calcular el Valor en Riesgo aplicando el enfoque de los bloques máximos de la teoría del valor extremo del día 24 de junio del 2019, se debe dividir la muestra existente de rendimientos, en bloques del mismo tamaño; en este caso se crearon bloques de veintidós días cada uno. Como la muestra de datos inicial, comprende los rendimientos de la acción entre el 02 de enero del 2015 y el 21 de junio del 2019, es decir, se tienen 1166 datos de rendimientos, se construyeron en total 53 bloques. De modo que, el bloque uno contiene los rendimientos de la acción entre 2 de enero y el 2 de febrero del 2015; el segundo bloque, está conformado por los rendimientos desde el 3 de febrero hasta el 04 de marzo de 2015 y así sucesivamente, hasta llegar al bloque número 53 que comprende los rendimientos entre el 23 de mayo del 2019 y el 21 de junio del mismo año. Paso siguiente, se sustrajo la pérdida máxima presente en cada bloque, de modo que se obtuvo una muestra de 53 datos de pérdidas extremas.

Bloque	Dato	Fecha	Rendimiento
1	1	02/01/2015	0,15%
	2	05/01/2015	-2,07%
	3	06/01/2015	3,66%
	4	07/01/2015	3,39%
	5	08/01/2015	1,52%
	6	09/01/2015	-1,52%
	7	12/01/2015	0,00%
	8	13/01/2015	0,42%
	9	14/01/2015	-1,39%
	10	15/01/2015	-0,28%
	11	16/01/2015	-0,99%
	12	19/01/2015	-0,28%
	13	20/01/2015	1,55%
	14	21/01/2015	1,81%
	15	22/01/2015	0,82%
	16	23/01/2015	0,41%
	17	26/01/2015	1,49%
	18	27/01/2015	-0,54%
	19	28/01/2015	-0,81%
	20	29/01/2015	-0,41%
	21	30/01/2015	0,82%
	22	02/02/2015	0,14%
2	1	03/02/2015	0,00%
	2	04/02/2015	1,61%
	3	05/02/2015	-0,67%
	4	06/02/2015	-0,40%
	5	09/02/2015	-0,81%
	6	10/02/2015	-0,41%
	7	11/02/2015	-0,14%
	8	12/02/2015	-0,55%
	9	13/02/2015	0,82%
	10	16/02/2015	-0,96%
	11	17/02/2015	-0,27%
	12	18/02/2015	-0,83%
	13	19/02/2015	-0,14%
	14	20/02/2015	1,11%
	15	23/02/2015	1,77%
	16	24/02/2015	-0,14%
	17	25/02/2015	-0,14%
	18	26/02/2015	2,01%
	19	27/02/2015	1,32%
	20	02/03/2015	0,78%
	21	03/03/2015	-1,04%
	22	04/03/2015	-0,26%
53	1	23/05/2019	-0,80%
	2	24/05/2019	28,16%
	3	27/05/2019	11,98%
	4	28/05/2019	-8,12%
	5	29/05/2019	-2,96%
	6	30/05/2019	-0,91%
	7	31/05/2019	-5,61%
	8	03/06/2019	0,00%
	9	04/06/2019	-3,26%
	10	05/06/2019	-0,33%
	11	06/06/2019	-5,11%
	12	07/06/2019	5,44%
	13	10/06/2019	-1,33%
	14	11/06/2019	1,99%
	15	12/06/2019	1,95%
	16	13/06/2019	-4,28%
	17	14/06/2019	-0,34%
	18	17/06/2019	-4,14%
	19	18/06/2019	-0,35%
	20	19/06/2019	5,83%
	21	20/06/2019	2,31%
	22	21/06/2019	0,65%

Figura 13. Bloques creados para aplicar el enfoque de bloques máximos a Avianca Preferencial (2019).

Elaboración propia

En la figura 13 se muestran como ejemplo tres de los bloques creados con los rendimientos de la Acción Preferencial de Avianca. Así, en el bloque 1 puede observarse que el dato de pérdida más extremo es -2,07% y se dio el 5 de enero del 2015, en el bloque 2 el dato más negativo fue -1,04% el cual se dio el 03 de marzo del 2015, y en el bloque 53 el dato de pérdida más extrema fue de -8,12% y se dio el 28 de mayo del 2019. De manera que se hizo el mismo proceso con los 53 bloques creados y se obtuvo posteriormente, la siguiente muestra de pérdidas extremas con las cuales se hallará la pérdida máxima no esperada para el día 24 de junio del 2019:

Bloque	mínimo	Bloque	mínimo	Bloque	mínimo
1	-2,07%	19	-2,36%	37	-1,75%
2	-1,04%	20	-3,69%	38	-3,89%
3	-3,97%	21	-2,87%	39	-4,64%
4	-3,15%	22	-1,27%	40	-2,19%
5	-2,92%	23	-1,85%	41	-2,44%
6	-2,33%	24	-5,84%	42	-5,43%
7	-4,35%	25	-10,41%	43	-3,38%
8	-6,61%	26	-5,31%	44	-4,87%
9	-5,52%	27	-1,96%	45	-4,70%
10	-10,18%	28	-2,44%	46	-3,89%
11	-3,65%	29	-3,80%	47	-7,92%
12	-6,08%	30	-1,40%	48	-5,41%
13	-5,21%	31	-2,83%	49	-4,55%
14	-4,58%	32	-1,68%	50	-4,81%
15	-3,30%	33	-2,69%	51	-2,72%
16	-4,92%	34	-3,36%	52	-8,16%
17	-2,69%	35	-1,93%	53	-8,12%
18	-8,84%	36	-1,72%		

Tabla 14. Pérdidas extremas presentes en cada uno de los 53 bloques de Avianca Preferencial (2019).

Elaboración propia.

La metodología que se usará para calcular el Valor en Riesgo (VaR) es la simulación de montecarlo. Se decidió usar esta, debido a que es la forma más completa de calcular la medida estadística VaR. Lo anterior, se sustenta en que este método es una combinación del método de simulación histórica y del paramétrico. Es decir, la simulación de montecarlo toma lo mejor de los otros dos métodos, al asumir una distribución (y sus parámetros estadísticos) que verdaderamente se ajuste al comportamiento histórico de la muestra de datos, crear una

cantidad de escenarios de rendimientos que el activo pueda llegar a tener y hallar a estos el k-ésimo percentil de acuerdo al nivel de confianza requerido.

De modo que, el siguiente paso en el cálculo de las pérdidas no esperadas por exposición a riesgo de mercado de la Acción Preferencial de Avianca para el día 24 de junio del 2019, es hallar qué tipo de distribución de probabilidad se ajusta a la muestra de pérdidas extremas que se obtuvo. Teóricamente la distribución resultante debería ser una de las tres distribuciones que conforman la Distribución Generalizada de Valores Extremos: Gumbel, Weibull o Frechet.

Para descubrir realmente a cuál distribución se ajusta más, se usó la herramienta complemento de Excel Risk Simulator. De esta manera se obtuvo que:

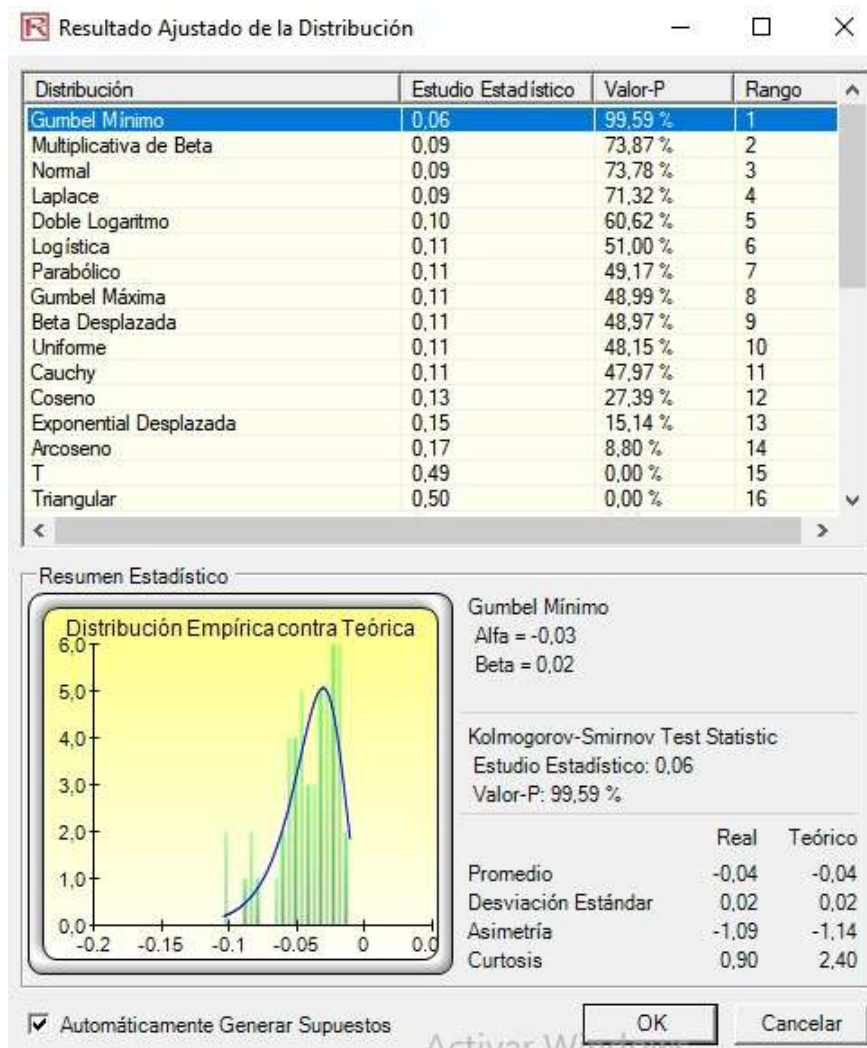


Figura 14. Distribución teórica a la que más se ajusta la muestra original de pérdidas extremas de Avianca Preferencial (2019). Elaboración propia a través del software risk simulator.

La distribución de probabilidad que más se ajusta a la muestra de pérdidas extremas con un p value de 99.59% es la distribución de Gumbel (Gumbel mínimo por trabajarse con datos negativos). Este valor, bajo la prueba kolmogorov-sminorv -“la cual determina la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí” (Chakravart et al, 1967)- supera los niveles de significancia, del 1%, 2% y 5%, lo que confirma que el nivel de ajuste entre la distribución empírica (las 53 pérdidas extremas de la acción preferencial de Avianca) y la distribución teórica Gumbel mínimo de parámetros  $\alpha = -0.03$  y  $\beta = 0.02$ , es bastante alto.

En este caso, la herramienta Risk Simulator nombra  $\alpha$  al parámetro de localización y  $\beta$  al parámetro de escala. Cabe recordar, que aunque las distribuciones de probabilidad pertenecientes a la familia de la Distribución Generalizada de Valores Extremos poseen tres parámetros estadísticos: localización (conocido como  $\alpha$  o  $a_n$ ), escala ( $\beta$  o  $b_n$ ) y forma ( $\epsilon$ ), solo aparecen en el cuadro de diálogo de Risk Simulator (Figura 14) los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ . Lo anterior se da, porque en el caso específico de la distribución Gumbel el parámetro de forma o índice de cola ( $\epsilon$ ) es igual a 0.

Ya habiendo obtenido la distribución teórica que se ajusta a la original o empírica, se procede a hallar el cálculo del percentil de VaR y consecuentemente el Valor en riesgo en términos monetarios. Para ello se sigue este proceso.

- Debe crearse un perfil en Risk simulator en donde se indique hacer 5.000 simulaciones o número de pruebas, así:

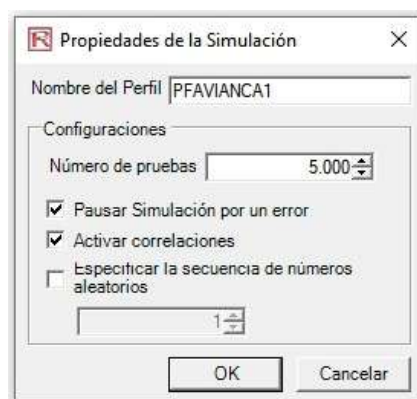


Figura 15. Creación de un perfil en risk simulator (2019). Elaboración propia a través del software risk simulator.



- Ingresar el supuesto de entrada, en donde deberá seleccionarse el tipo de distribución de ajuste resultante (Gumbel mínimo) y los parámetros de la misma (Alpha y Beta). Así:

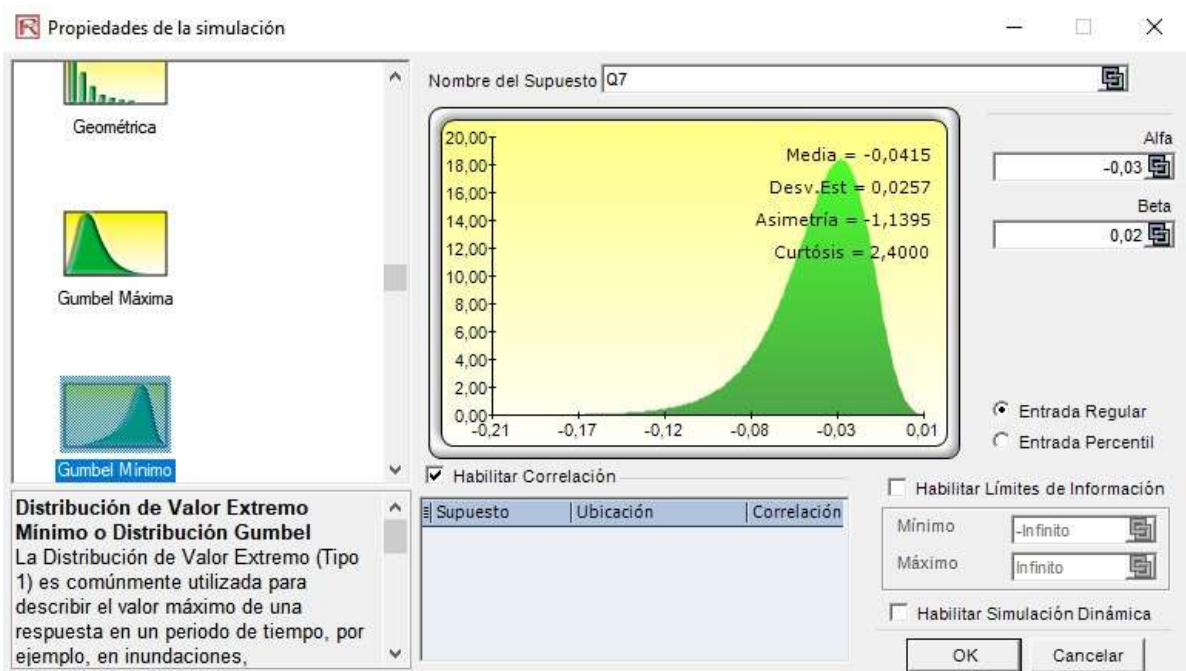


Figura 16. Supuesto de entrada de la simulación de montecarlo (2019). Elaboración propia a través del software risk simulator.

Después de pulsar el botón OK, la celda se pondrá de color verde, de la forma en la que muestra la figura 17.

- Ingresar el supuesto de salida. Hay que tener claro, que el supuesto de salida debe igualarse al supuesto de entrada, así:

	A	B	C
1			
2		Supuesto	Supuesto
3		de entrada	de salida
4			+B4

Figura 17. Supuesto de salida es igual al supuesto de entrada (2019). Elaboración propia.

- En el cuadro de dialogo del supuesto o pronóstico de salida se ingresa la siguiente información:



Figura 18. Cuadro de diálogo pronóstico de salida (2019). Elaboración propia a través del software risk simulator.

Una vez diligenciado este cuadro de diálogo la celda (en donde se igualó el pronóstico de salida al de entrada) deberá ponerse en color amarillo como se ve en la figura 17.

- Por último, debe correrse la simulación de montecarlo, en donde debe seleccionarse: cola derecha  $\geq$ , y un nivel de confianza del 95%. El percentil del VaR es aquel que se encuentra en el cuadro color celeste. Así:

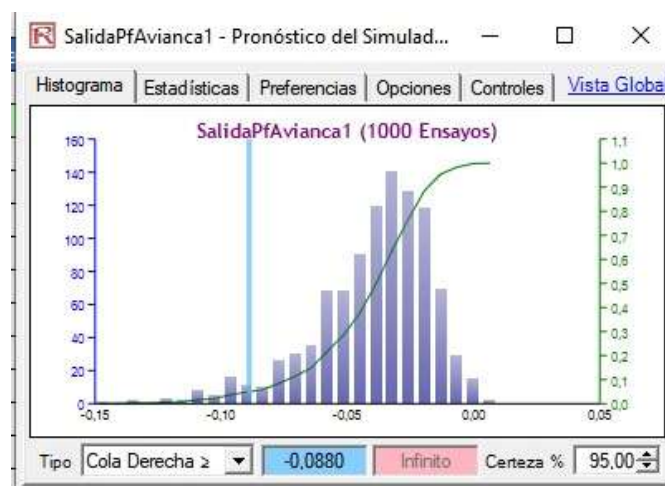


Figura 19. Cuadro de diálogo para hallar percentil del VaR de Avianca Preferencial (2019). Elaboración propia a través del software risk simulator.

- Finalmente, para completar el proceso del cálculo de la pérdida máxima no esperada del día 24 de Junio del 2019, de la Acción Preferencial de Avianca a través de la

metodología de bloques máximos, debe multiplicarse el Percentil del VaR hallado en el paso anterior, por el precio actual de la acción; es decir, el del día 21 de junio del 2019. Así:

Precio de la acción el día 21 de junio de 2019 = COP 1.545

Percentil del VaR para el día 24 de junio de 2019 = -0,0880 = -8,80%

TVE VaR (Pérdida máxima no esperada 24.06.2019) = 1.545 \* -8,80% = COP -135,96

De manera que, se concluyó el proceso. Bajo un nivel de confianza del 95%, el percentil de VaR de -8,80% representa la pérdida máxima extrema que puede tener la acción en términos porcentuales el día 24 de junio de 2019, y el VaR de COP -135,96 corresponde a dicha pérdida en términos monetarios.

**2.1.2. Acción Ordinaria de Cemex Latam Holdings.** Para calcular el VaR o pérdida máxima no esperada de la acción de Cemex para el día 24 de Junio de 2019 a través del método de los bloques máximos se siguió exactamente el mismo proceso que con Avianca Preferencial, los bloques que se obtuvieron para este fueron:

Bloque	Dato	Fecha	Rendimiento
1	1	02/01/2015	0,00%
	2	05/01/2015	-5,13%
	3	06/01/2015	0,00%
	4	07/01/2015	3,24%
	5	08/01/2015	-1,80%
	6	09/01/2015	1,80%
	7	12/01/2015	0,00%
	8	13/01/2015	0,63%
	9	14/01/2015	-0,63%
	10	15/01/2015	-0,64%
	11	16/01/2015	-0,26%
	12	19/01/2015	0,13%
	13	20/01/2015	0,00%
	14	21/01/2015	0,38%
	15	22/01/2015	3,52%
	16	23/01/2015	-1,24%
	17	26/01/2015	0,00%
	18	27/01/2015	1,24%
	19	28/01/2015	-1,24%
	20	29/01/2015	-3,17%
	21	30/01/2015	-1,82%
	22	02/02/2015	1,82%

Bloque	Dato	Fecha	Rendimiento
2	1	03/02/2015	-1,95%
	2	04/02/2015	-3,48%
	3	05/02/2015	2,16%
	4	06/02/2015	-2,16%
	5	09/02/2015	-0,55%
	6	10/02/2015	0,00%
	7	11/02/2015	-2,64%
	8	12/02/2015	2,09%
	9	13/02/2015	0,55%
	10	16/02/2015	1,36%
	11	17/02/2015	0,67%
	12	18/02/2015	0,40%
	13	19/02/2015	-0,40%
	14	20/02/2015	0,54%
	15	23/02/2015	0,13%
	16	24/02/2015	0,00%
	17	25/02/2015	-0,67%
	18	26/02/2015	0,54%
	19	27/02/2015	0,13%
	20	02/03/2015	0,00%
	21	03/03/2015	-1,75%
	22	04/03/2015	-2,06%

Bloque	Dato	Fecha	Rendimiento
53	1	23/05/2019	-4,01%
	2	24/05/2019	-1,37%
	3	27/05/2019	4,73%
	4	28/05/2019	3,67%
	5	29/05/2019	0,00%
	6	30/05/2019	-3,67%
	7	31/05/2019	1,09%
	8	03/06/2019	0,00%
	9	04/06/2019	-4,45%
	10	05/06/2019	0,34%
	11	06/06/2019	-0,34%
	12	07/06/2019	2,80%
	13	10/06/2019	0,00%
	14	11/06/2019	-1,67%
	15	12/06/2019	-1,02%
	16	13/06/2019	1,02%
	17	14/06/2019	0,67%
	18	17/06/2019	-4,92%
	19	18/06/2019	3,68%
	20	19/06/2019	-2,05%
	21	20/06/2019	0,35%
	22	21/06/2019	1,82%

Figura 20. Bloques creados para aplicar el enfoque de bloques máximos a Cemex (2019). Elaboración propia

De modo que los 53 datos máximos extremos escogidos de cada uno de los bloques que se obtuvieron fueron estos:

Bloque	mínimo	Bloque	mínimo	Bloque	mínimo
1	-5,13%	19	-2,39%	37	-2,11%
2	-3,48%	20	-0,90%	38	-3,68%
3	-4,11%	21	-9,76%	39	-7,60%
4	-5,41%	22	-3,40%	40	-2,91%
5	-3,44%	23	-3,15%	41	-3,57%
6	-3,41%	24	-1,82%	42	-2,35%
7	-3,17%	25	-3,06%	43	-3,95%
8	-4,65%	26	-2,28%	44	-6,04%
9	-2,43%	27	-3,10%	45	-5,15%
10	-5,09%	28	-0,94%	46	-4,88%
11	-3,29%	29	-2,73%	47	-25,08%
12	-1,49%	30	-1,37%	48	-10,39%
13	-3,67%	31	-2,42%	49	-6,38%
14	-1,13%	32	-1,55%	50	-6,45%
15	-3,11%	33	-2,40%	51	-2,11%
16	-3,43%	34	-2,51%	52	-3,88%
17	-2,68%	35	-1,81%	53	-4,92%
18	-2,95%	36	-2,20%		

Tabla 15. Pérdidas extremas presentes en cada uno de los 53 bloques de Cemex (2019). Elaboración propia.

El ajuste de distribución obtenido para esta muestra de pérdidas máximas es:

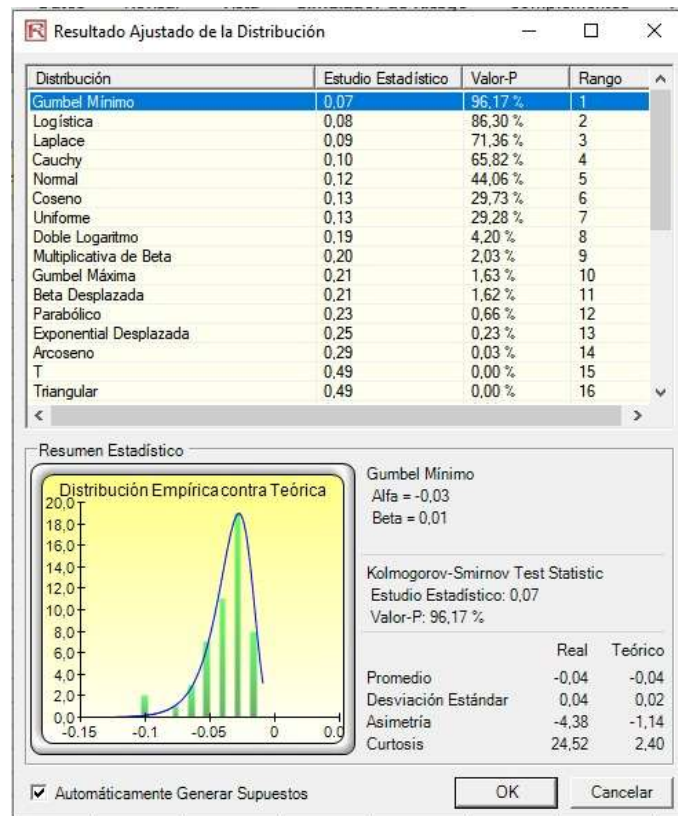


Figura 21. Distribución teórica a la que más se ajusta la muestra original de pérdidas extremas de Cemex. Elaboración propia a través del software risk simulator.

En este caso, la distribución que más se ajusta a la muestra de pérdidas extremas es Gumbel mínimo con un P value de 96,17%. Así que, después de haber seguido el proceso para hacer la simulación de montecarlo (como se hizo con la Acción Preferencial de Avianca) se obtuvo el siguiente percentil del VaR como resultado.

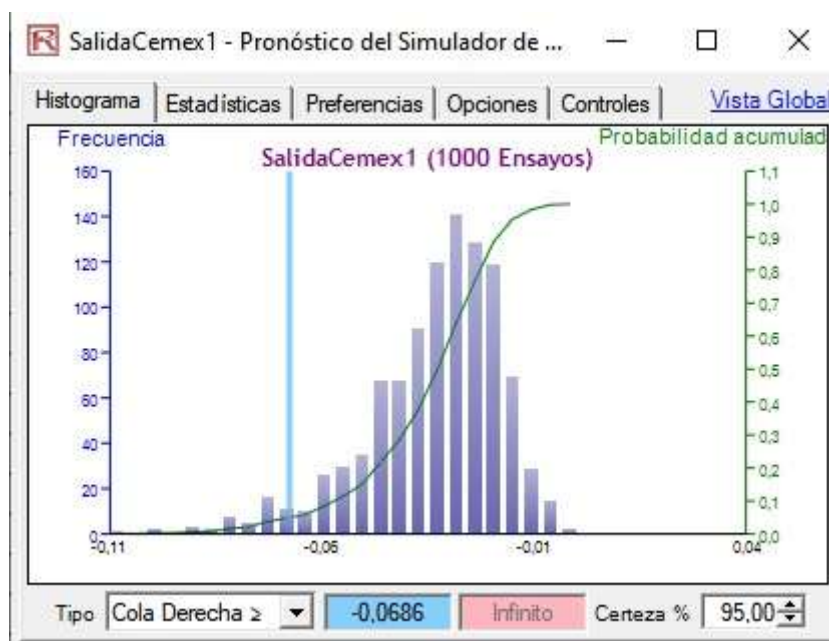


Figura 22. Cuadro de diálogo para hallar percentil del VaR de Cemex (2019). Elaboración propia a través del software risk simulator.

En resumen:

Precio de la acción el día 21 de junio de 2019 = COP 4.430

Percentil del VaR para el día 24 de junio de 2019 = -0,0686 = -6,86%

TVE VaR (Pérdida máxima no esperada 24.06.2019) =  $4.430 * -6,86\% = \text{COP } -303,90$

Concluyendo así que, con un nivel de confianza del 95%, el percentil de VaR de -6,86% representa la pérdida máxima extrema que puede llegar a tener la acción en términos porcentuales el día 24 de junio de 2019, y el VaR de COP -303,90 corresponde a dicha pérdida en términos monetarios.

**2.1.3. Acción Ordinaria de Corficolombiana.** Siguiendo el proceso hecho con Avianca Preferencial y Cemex para hallar la pérdida máxima no esperada a través del método

de bloques máximos para el día 24 de junio de 2019, se obtuvieron los siguientes bloques para la acción de Corficolombiana:

Bloque	Dato	Fecha	Rendimiento
1	1	02/01/2015	-1,41%
	2	05/01/2015	-3,46%
	3	06/01/2015	-0,42%
	4	07/01/2015	-0,26%
	5	08/01/2015	1,52%
	6	09/01/2015	-0,37%
	7	12/01/2015	0,00%
	8	13/01/2015	-0,63%
	9	14/01/2015	0,68%
	10	15/01/2015	-2,01%
	11	16/01/2015	1,32%
	12	19/01/2015	-0,53%
	13	20/01/2015	1,78%
	14	21/01/2015	-0,68%
	15	22/01/2015	1,04%
	16	23/01/2015	0,98%
	17	26/01/2015	-2,02%
	18	27/01/2015	3,56%
	19	28/01/2015	-3,35%
	20	29/01/2015	0,21%
	21	30/01/2015	-1,71%
	22	02/02/2015	1,45%

Bloque	Dato	Fecha	Rendimiento
2	1	03/02/2015	0,79%
	2	04/02/2015	1,00%
	3	05/02/2015	0,05%
	4	06/02/2015	-1,05%
	5	09/02/2015	0,05%
	6	10/02/2015	-1,22%
	7	11/02/2015	0,43%
	8	12/02/2015	0,37%
	9	13/02/2015	1,32%
	10	16/02/2015	-0,05%
	11	17/02/2015	-0,58%
	12	18/02/2015	-0,37%
	13	19/02/2015	-0,80%
	14	20/02/2015	-0,32%
	15	23/02/2015	0,21%
	16	24/02/2015	-0,16%
	17	25/02/2015	0,32%
	18	26/02/2015	-0,27%
	19	27/02/2015	0,00%
	20	02/03/2015	-0,32%
	21	03/03/2015	-1,94%
	22	04/03/2015	0,87%

Bloque	Dato	Fecha	Rendimiento
53	1	23/05/2019	-0,43%
	2	24/05/2019	1,02%
	3	27/05/2019	-0,77%
	4	28/05/2019	-2,87%
	5	29/05/2019	2,09%
	6	30/05/2019	0,52%
	7	31/05/2019	0,17%
	8	03/06/2019	0,00%
	9	04/06/2019	-1,29%
	10	05/06/2019	-0,17%
	11	06/06/2019	0,09%
	12	07/06/2019	0,00%
	13	10/06/2019	0,17%
	14	11/06/2019	1,21%
	15	12/06/2019	2,79%
	16	13/06/2019	1,90%
	17	14/06/2019	1,86%
	18	17/06/2019	0,32%
	19	18/06/2019	0,40%
	20	19/06/2019	-0,64%
	21	20/06/2019	0,88%
	22	21/06/2019	0,16%

Figura 23. Bloques creados para aplicar el enfoque de bloques máximos a Corficolombiana (2019). Elaboración propia.

Posteriormente, se obtuvo la siguiente muestra de 53 pérdidas máximas para la acción de Corficolombiana:

Bloque	mínimo	Bloque	mínimo	Bloque	mínimo
1	-3,46%	19	-1,36%	37	-2,64%
2	-1,94%	20	-2,49%	38	-3,53%
3	-4,03%	21	-1,42%	39	-1,18%
4	-1,31%	22	-0,75%	40	-1,65%
5	-2,16%	23	-2,16%	41	-1,19%
6	-1,95%	24	-1,03%	42	-2,00%
7	-1,50%	25	-2,32%	43	-2,20%
8	-3,80%	26	-15,87%	44	-3,52%
9	-2,17%	27	-1,66%	45	-3,62%
10	-1,56%	28	-1,76%	46	-4,47%
11	-2,74%	29	-5,75%	47	-9,02%
12	-3,08%	30	-1,79%	48	-4,28%
13	-5,07%	31	-1,34%	49	-3,14%
14	-1,74%	32	-1,42%	50	-1,13%
15	-2,32%	33	-3,56%	51	-1,52%
16	-1,46%	34	-1,25%	52	-4,10%
17	-1,77%	35	-0,84%	53	-2,87%
18	-1,05%	36	-1,50%		

Tabla 16. Pérdidas extremas presentes en cada uno de los 53 bloques de Corficolombiana (2019). Elaboración propia.

Así, el ajuste de distribución obtenido para esta muestra de pérdidas máximas es:

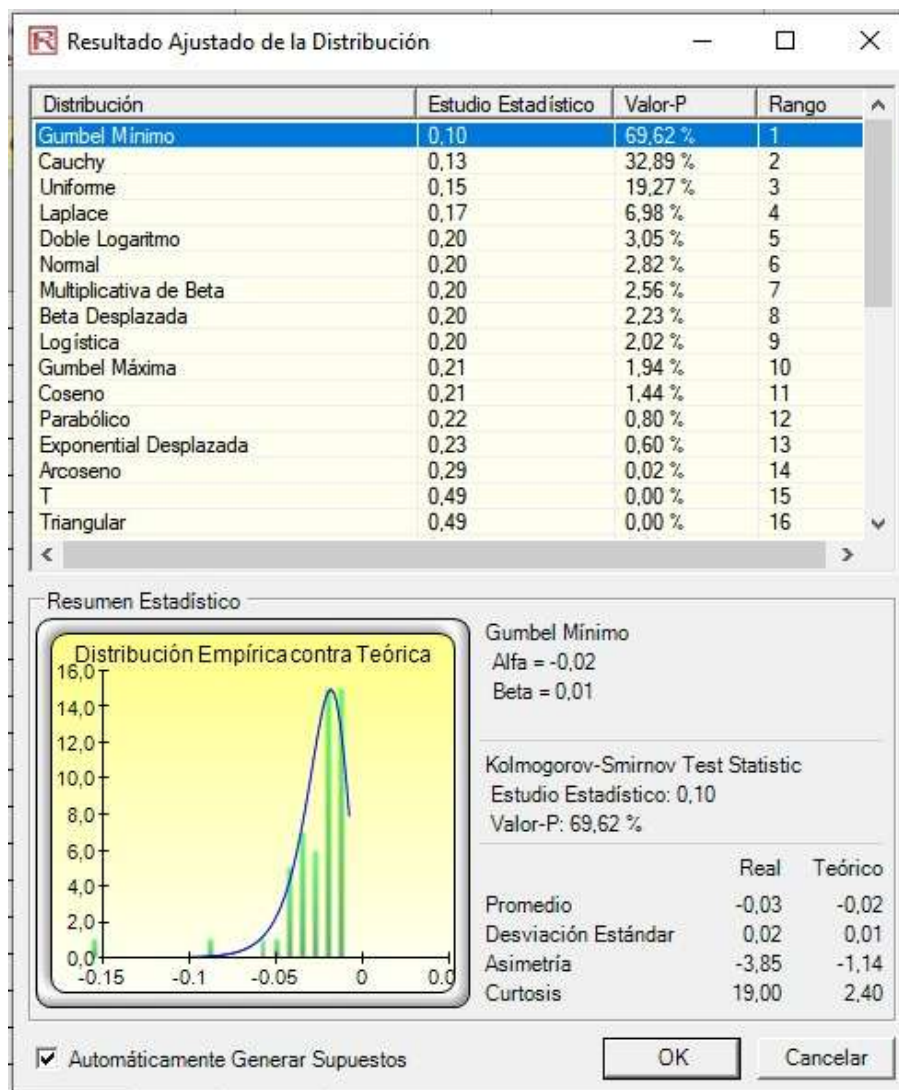


Figura 24. Pérdidas extremas presentes en cada uno de los 53 bloques de Corficolombiana (2019). Elaboración propia.

En este caso, la distribución que más se ajusta a la muestra de pérdidas extremas es Gumbel mínimo con un P value de 69,52%, lo cual es un poco menor que el P Value del ajuste de la acción de Avianca preferencial; pero, sigue siendo un valor alto que supera los niveles de significancia del 1%, 2% y 5%. Por otra parte los parámetros que se obtuvieron fueron alfa = -0,02 y beta = 0,01. Para finalizar, el resultado obtenido mediante la simulación de montecarlo es:

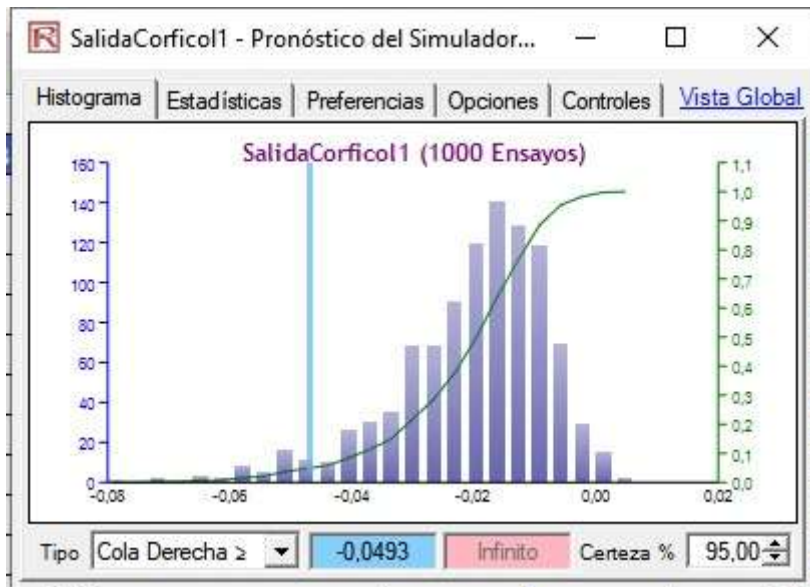


Figura 25. Cuadro de diálogo para hallar percentil del VaR de Corficolombiana (2019). Elaboración propia a través del software risk simulator.

En resumen:

Precio de la acción el día 21 de junio de 2019 = COP 25.200

Percentil del VaR para el día 24 de junio de 2019 = -0,0493 = -4,93%

TVE VaR (Pérdida máxima no esperada 24.06.2019) =  $25.200 * -4,93\% = \text{COP } -1.242,36$

De lo que se infiere que, a un nivel de confianza del 95%, el percentil de VaR de -4,93% representa la pérdida máxima extrema que puede tener la acción en términos porcentuales el día 24 de junio de 2019, y el VaR de COP -1.242,36 corresponde a dicha pérdida en términos monetarios.

## 2.2. Método de picos sobre el umbral.

**2.2.1. Acción Preferencial de Avianca.** Para calcular el VaR o valor en riesgo a través del método de picos sobre el umbral (o POT) de la teoría de valores extremos, para el día 24 de Junio de 2019 en la acción preferencial de Avianca, se inició tomando la muestra de 1166 rendimientos comprendidos entre el 02 de enero de 2015 y el 21 de junio del 2019 y se hizo una depuración de la muestra, de modo que se tuvieran en cuenta para el desarrollo de la metodología únicamente los datos de pérdidas; y, se ignoraran los datos de ganancia o



rentabilidades positivas. De modo que de los 1166 datos de la muestra de rendimientos original se llegaron a 552 datos, los cuales corresponde solamente a pérdidas.

En el siguiente paso, y teniendo solo la muestra de pérdidas, se convirtió cada valor de rentabilidad negativa en rentabilidad positiva; es decir, la metodología POT se trabajó con los valores absolutos de dichas pérdidas. Cabe resaltar, que el trabajar con los valores absolutos es de suma importancia; ya que, si no se hace de esta forma, las distribuciones de ajuste muy probablemente no tendrán nada que ver con el método POT de la teoría de valores extremos.

Muestra de solo pérdidas		
Fecha	Pérdidas	Pérdidas absolutas
05/01/2015	-2,06%	2,06%
09/01/2015	-1,52%	1,52%
14/01/2015	-1,39%	1,39%
15/01/2015	-0,28%	0,28%
16/01/2015	-0,99%	0,99%
19/01/2015	-0,28%	0,28%
27/01/2015	-0,54%	0,54%
28/01/2015	-0,81%	0,81%
29/01/2015	-0,41%	0,41%
05/02/2015	-0,67%	0,67%
06/02/2015	-0,40%	0,40%
09/02/2015	-0,81%	0,81%
...	...	...
14/06/2019	-0,34%	0,34%
17/06/2019	-4,14%	4,14%
18/06/2019	-0,35%	0,35%

Tabla 17. Muestra de solo pérdidas de Avianca Preferencial (2019). Elaboración propia

Ahora, el paso más importante bajo este método, es la elección del umbral a partir del cual los datos serán llamados extremos. La elección de este, se dio de una manera cuantitativa y gráfica. Para ello, se usó el método descrito en el enfoque teórico del presente trabajo, en donde, a través de un plano cartesiano, que contiene en el eje horizontal, 16 umbrales propuestos y en el eje vertical un estimador para cada uno; el cual, será explicado en detalle en las siguientes líneas. El proceso para determinar el umbral comprendió los siguientes pasos:

- Se creó una tabla en donde la columna número 1 es denominada percentil, en la cual se colocaron valores entre el 75% y el 90%, aumentando, en un 1% el valor de una fila a otra (75%, 76%, 77%... 90%).

- Después se creó una nueva columna denominada umbral, en donde se obtuvieron a través de la fórmula de percentil cada uno de los 16 umbrales propuestos. De modo que, cada umbral correspondía al k-ésimo valor de porcentaje de pérdida (en valores absolutos) de la muestra de 552 pérdidas. Así, a cada dato de la columna percentil se le aplicó -precisamente- la fórmula de Excel, percentil. Entonces para el umbral del percentil 75% la fórmula usada fue la siguiente: = percentil (muestra de pérdidas absolutas; 75%); para el umbral del percentil 76% la fórmula fue esta: = percentil (muestra de pérdidas absolutas; 76%) y así sucesivamente; hasta que se obtuvo la siguiente lista de posibles umbrales:

Percentil	Umbral
75,00%	2,26%
76,00%	2,32%
77,00%	2,41%
78,00%	2,44%
79,00%	2,53%
80,00%	2,59%
81,00%	2,67%
82,00%	2,72%
83,00%	2,81%
84,00%	2,87%
85,00%	2,94%
86,00%	3,03%
87,00%	3,15%
88,00%	3,31%
89,00%	3,50%
90,00%	3,68%

*Tabla 18.* Percentiles y umbrales (2019). Elaboración propia.

- Ahora, para cada umbral se halló un estimador denominado media de excesos. De modo que se hicieron 16 nuevas tablas, en donde en cada una se hallaron las diferencias entre la pérdida registrada en el día y el umbral propuesto; y posteriormente se halló el promedio de estos excesos: Así:

Umbral			Umbral		
Media de excesos			Media de excesos		
Fecha	Pérdidas	Excesos	Pérdidas	Excesos	
05/01/2015	2,06%		05/01/2015	2,06%	
09/01/2015	1,52%		09/01/2015	1,52%	
17/02/2015	0,27%		17/02/2015	0,27%	
18/02/2015	0,83%		18/02/2015	0,83%	
04/03/2015	0,26%		04/03/2015	0,26%	
09/03/2015	3,04%	0,78%	09/03/2015	3,04%	0,72%
10/03/2015	3,97%	1,71%	10/03/2015	3,97%	1,65%
11/03/2015	1,26%		11/03/2015	1,26%	
16/03/2015	0,95%		16/03/2015	0,95%	
17/03/2015	2,48%	0,21%	17/03/2015	2,48%	0,16%
20/03/2015	0,80%		20/03/2015	0,80%	
26/03/2015	2,94%	0,68%	26/03/2015	2,94%	0,62%
27/03/2015	1,36%		27/03/2015	1,36%	
30/03/2015	1,24%		30/03/2015	1,24%	
...	...	...	...		
14/06/2019	0,34%		14/06/2019	0,34%	
17/06/2019	4,14%	1,88%	17/06/2019	4,14%	1,82%
18/06/2019	0,35%		18/06/2019	0,35%	

3,04% - 1,63%  
= 0,72%

Figura 26. Extracto medias de excesos (2019). Elaboración propia.

- Luego de que se hallaron los 16 estimadores correspondientes a la media de excesos obtenida mediante cada umbral, se obtuvo una tabla resumen con la siguiente información:

Percentil	Umbral	Media de excesos
75,00%	2,26%	1,62%
76,00%	2,32%	1,63%
77,00%	2,41%	1,62%
78,00%	2,44%	1,65%
79,00%	2,53%	1,64%
80,00%	2,59%	1,65%
81,00%	2,67%	1,66%
82,00%	2,72%	1,69%
83,00%	2,81%	1,72%
84,00%	2,87%	1,74%
85,00%	2,94%	1,80%
86,00%	3,03%	1,82%
87,00%	3,15%	1,85%
88,00%	3,31%	1,82%
89,00%	3,50%	1,81%
90,00%	3,68%	1,77%

Tabla 19. Umbrales y medias de excesos de Avianca Preferencial (2019). Elaboración propia.

- El siguiente paso para determinar el umbral, incluyó graficar los datos de la tabla anterior. De modo que, en el eje X se colocaron los 16 umbrales, y en el eje Y las 16 medias de excesos. La gráfica que resultó fue la siguiente:



Figura 27. Umbrales vs medias de excesos (2019). Elaboración propia.

- Según la literatura consultada y lo descrito en el enfoque teórico, el umbral puede estar en uno de los puntos en donde la gráfica tome forma lineal; y a su vez, presente pendiente positiva. En este caso, la sección entre líneas rojas que muestra la figura 28 presenta pendiente positiva y tiene una forma aproximadamente lineal, por lo que uno de estos puntos puede ser el umbral que se está buscando. Para este caso se escogió el umbral 2,72%. De modo que los datos de la muestra de pérdidas (en valores absolutos) que excedan 2,72% serán tomados como un pico sobre el umbral, y por ende pasarán a hacer parte de los datos de pérdida extremas a modelar.



Figura 28. Umbrales vs medias de excesos y umbral escogido para Avianca Preferencial (2019). Elaboración propia.

Una vez hallado el valor del umbral, se tomó la muestra de los 552 datos de pérdida y se determinó cuáles de estos datos sobrepasaron el umbral, los picos sobre el umbral resultantes fueron 100:

PICOS SOBRE EL UMBRAL							
Fecha	Pérdidas	Fecha	Pérdidas	Fecha	Pérdidas	Fecha	Pérdidas
09/03/2015	3,04%	10/11/2015	3,65%	02/02/2017	2,92%	10/12/2018	7,92%
10/03/2015	3,97%	09/12/2015	2,98%	03/02/2017	5,52%	14/12/2018	5,68%
26/03/2015	2,94%	14/12/2015	5,06%	01/03/2017	5,31%	18/12/2018	2,90%
30/04/2015	3,15%	06/01/2016	6,08%	18/05/2017	2,85%	21/12/2018	5,41%
15/05/2015	2,76%	07/01/2016	2,86%	31/05/2017	3,80%	18/01/2019	3,27%
01/06/2015	2,92%	12/01/2016	5,21%	10/08/2017	2,83%	31/01/2019	4,55%
15/07/2015	3,37%	16/02/2016	3,65%	17/10/2017	2,90%	19/02/2019	2,80%
21/07/2015	2,95%	01/03/2016	4,58%	31/10/2017	3,32%	05/03/2019	3,05%
28/07/2015	4,35%	15/03/2016	3,30%	07/11/2017	3,36%	14/03/2019	4,81%
04/08/2015	2,79%	23/03/2016	2,79%	02/03/2018	3,89%	15/03/2019	3,54%
05/08/2015	2,87%	14/04/2016	4,92%	26/03/2018	4,64%	01/04/2019	2,72%
11/08/2015	4,80%	29/04/2016	3,99%	02/04/2018	3,75%	30/04/2019	8,16%
13/08/2015	5,63%	10/06/2016	3,90%	28/06/2018	5,43%	08/05/2019	3,32%
14/08/2015	3,54%	16/06/2016	8,84%	02/08/2018	3,00%	09/05/2019	2,74%
21/08/2015	6,00%	17/06/2016	5,70%	08/08/2018	3,38%	13/05/2019	4,91%
24/08/2015	6,61%	24/06/2016	3,76%	10/08/2018	3,15%	14/05/2019	5,55%
22/09/2015	3,59%	27/06/2016	3,91%	23/08/2018	4,87%	16/05/2019	5,07%
23/09/2015	5,52%	22/08/2016	3,69%	27/08/2018	3,47%	22/05/2019	4,29%
28/09/2015	4,23%	20/09/2016	2,87%	04/09/2018	2,82%	28/05/2019	8,12%
13/10/2015	4,80%	16/12/2016	4,99%	24/09/2018	4,70%	29/05/2019	2,96%
19/10/2015	10,18%	19/12/2016	5,84%	02/10/2018	3,11%	31/05/2019	5,61%
26/10/2015	7,34%	12/01/2017	3,05%	05/10/2018	2,99%	04/06/2019	3,26%
27/10/2015	8,61%	17/01/2017	5,19%	25/10/2018	3,10%	06/06/2019	5,11%
30/10/2015	3,97%	23/01/2017	9,86%	29/10/2018	3,89%	13/06/2019	4,28%
04/11/2015	3,20%	01/02/2017	10,41%	23/11/2018	4,26%	17/06/2019	4,14%

Tabla 20. Picos sobre el umbral determinado para Avianca preferencial (2019). Elaboración propia.

Teniendo ya los picos sobre el umbral se procedió a encontrar la distribución que se ajusta a estos datos. Teóricamente debe ser una de las tres distribución de la familia de la Distribución Generalizada de Pareto: Pareto, Exponencial o Beta. La distribución de ajuste que se encontró fue Beta (desplazada en este caso) con un P Value de 88,30%, el cual supera los niveles de significancia; 1%, 2% y 5%, y con parámetros  $\alpha = 0,92$ ;  $\beta = 53,48$  y ubicación  $= 0,03$ . Resaltando de esto, que  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros de forma y el parámetro de ubicación solo aparece por la asimetría que presta la distribución teórica.

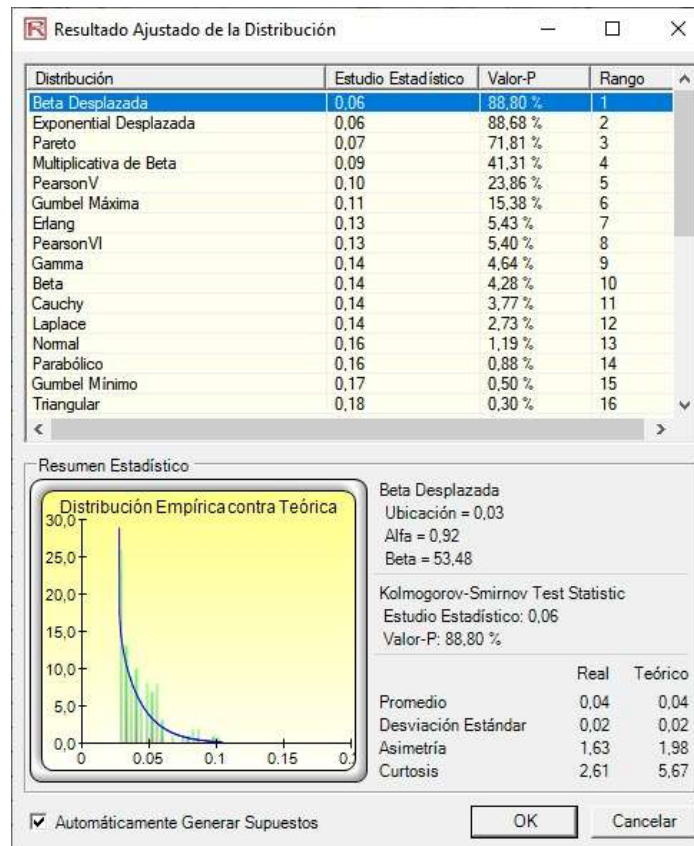


Figura 29. Ajuste de distribución POT Avianca Preferencial (2019). Elaboración propia a través del software risk simulator.

Posteriormente, se hizo la simulación de montecarlo tal cual se describió en el método Boques máximos, con la diferencia, de que en vez de colocar en Tipo “cola derecha  $\geq$ ”; debe colocarse cola izquierda  $\leq$  ya que se trata de datos positivos (valores absolutos de las pérdidas). En este caso, el percentil del VaR aparece en la casilla color rosado.

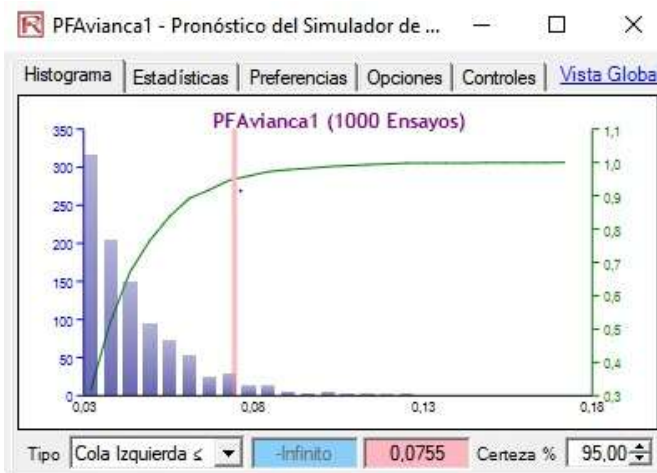


Figura 30. Percentil del VaR – Método POT Avianca Preferencial (2019). Elaboración propia a través del software risk simulator.

De modo que, en resumen se obtuvo que:

Precio de la acción el día 21 de junio de 2019 = COP 1.545

Percentil del VaR para el día 24 de junio de 2019 = 0,0755 = 7,55%

TVE VaR (Pérdida máxima no esperada 24.06.2019) = 1.545 \* 7,55% = COP 116,65

De lo que se infiere que, a un nivel de confianza del 95%, el percentil de VaR bajo esta metodología es de 7,55% representa la pérdida máxima que puede tener la acción en términos porcentuales el día 24 de junio de 2019, y el VaR de COP 116,65 corresponde a dicha pérdida en términos monetarios.

**2.2.2. Acción Ordinaria de Cemex Latam Holdings.** Para calcular la pérdida máxima no esperada bajo esta metodología en la acción de Cemex para el día 24 de junio, se siguieron los mismos pasos descritos en la acción de Avianca preferencial. De modo que, los 16 umbrales y medias de excesos que se obtuvieron fueron:

Percentil	Umbral	Media de excesos
75,00%	2,01%	1,60%
76,00%	2,06%	1,61%
77,00%	2,11%	1,64%
78,00%	2,16%	1,66%
79,00%	2,18%	1,71%
80,00%	2,29%	1,68%
81,00%	2,35%	1,71%
82,00%	2,43%	1,72%
83,00%	2,53%	1,72%
84,00%	2,59%	1,75%
85,00%	2,73%	1,73%
86,00%	2,80%	1,80%
87,00%	2,89%	1,83%
88,00%	2,99%	1,86%
89,00%	3,07%	1,98%
90,00%	3,17%	2,09%

Tabla 21. Umbrales y medias de excesos de Cemex (2019). Elaboración propia.

El umbral escogido en este caso de acuerdo a la gráfica que se muestra a continuación fue, 2,72%; y por ende los datos que sobrepasen este valor serán los picos sobre el umbral:

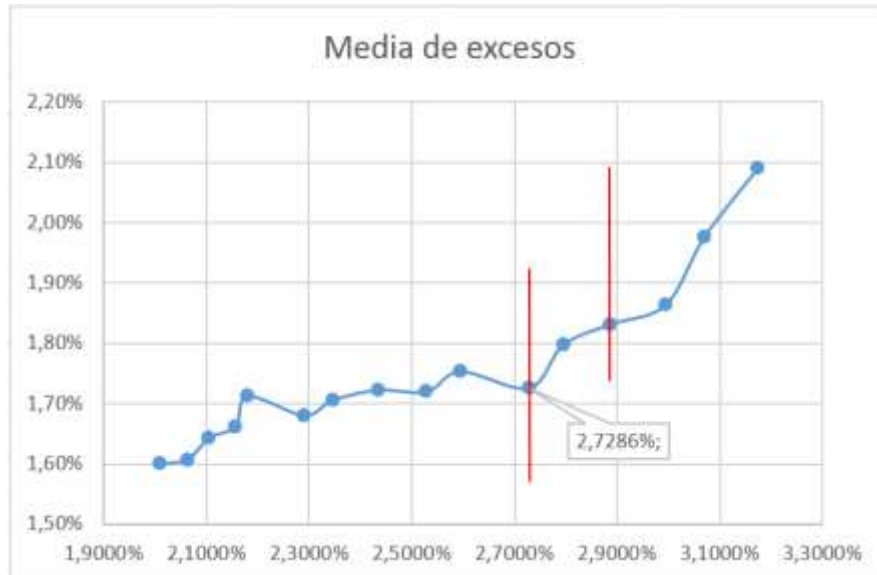


Figura 31. Umbrales vs medias de excesos y umbral escogido para Cemex (2019). Elaboración propia.

De modo que los picos que se encontraron sobre este umbral fueron 80:

PICOS SOBRE EL UMBRAL							
Fecha	Pérdidas	Fecha	Pérdidas	Fecha	Pérdidas	Fecha	Pérdidas
05/01/2015	5,13%	07/01/2016	2,93%	22/03/2018	7,60%	14/12/2018	5,13%
29/01/2015	3,17%	12/01/2016	2,96%	16/05/2018	2,91%	20/12/2018	3,07%
04/02/2015	3,48%	29/01/2016	3,05%	17/05/2018	2,87%	21/12/2018	10,39%
05/03/2015	2,81%	02/02/2016	3,67%	21/05/2018	3,57%	02/01/2019	4,42%
10/03/2015	4,11%	05/04/2016	3,11%	27/07/2018	3,95%	16/01/2019	6,03%
20/03/2015	2,73%	03/05/2016	3,43%	08/08/2018	3,25%	28/01/2019	6,38%
20/04/2015	2,79%	08/07/2016	2,95%	16/08/2018	3,02%	31/01/2019	4,81%
04/05/2015	5,41%	16/09/2016	7,78%	23/08/2018	4,44%	07/02/2019	3,71%
13/05/2015	3,44%	26/09/2016	9,76%	27/08/2018	5,98%	19/02/2019	3,26%
17/06/2015	3,41%	29/09/2016	4,68%	06/09/2018	4,72%	21/02/2019	5,51%
21/07/2015	3,17%	30/09/2016	6,53%	12/09/2018	6,04%	22/02/2019	6,45%
18/08/2015	2,74%	27/10/2016	3,40%	13/09/2018	2,97%	07/03/2019	4,05%
21/08/2015	4,27%	28/10/2016	3,16%	21/09/2018	3,00%	14/03/2019	4,65%
24/08/2015	4,65%	11/11/2016	3,15%	28/09/2018	2,74%	24/04/2019	3,88%
20/10/2015	2,87%	29/11/2016	2,86%	16/10/2018	5,15%	06/05/2019	3,04%
22/10/2015	5,09%	09/02/2017	3,06%	29/10/2018	4,88%	13/05/2019	3,72%
30/10/2015	3,89%	14/03/2017	3,10%	06/11/2018	2,81%	23/05/2019	4,01%
06/11/2015	3,29%	25/05/2017	2,73%	20/11/2018	10,34%	30/05/2019	3,67%
09/11/2015	2,75%	27/02/2018	3,31%	21/11/2018	25,08%	04/06/2019	4,45%
04/12/2015	3,28%	16/03/2018	3,68%	13/12/2018	3,68%	17/06/2019	4,92%

Tabla 22. Picos sobre el umbral determinado para Cemex (2019). Elaboración propia.



A continuación se presenta el ajuste de distribución de estos datos y el resultado de la simulación de montecarlo. En el caso de la distribución, la que más se ajusta en este caso con P value del 99,74% y con parámetros alfa (forma) = 2,46 y beta (ubicación) = 0,02 es la distribución de probabilidad de Pareto. Y el Percentil del VaR en este caso es de 0,0853:

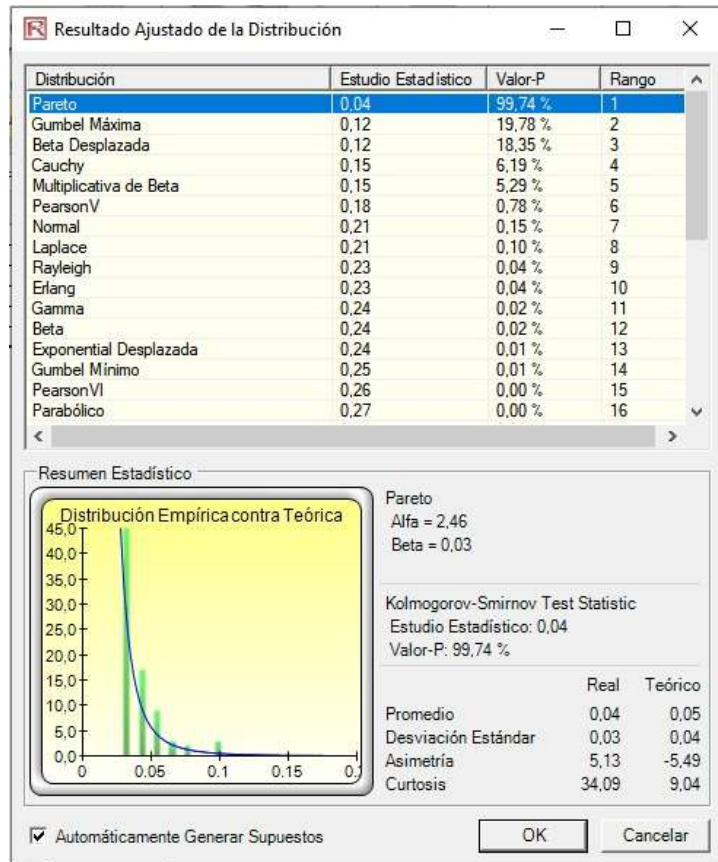


Figura 32. Ajuste de distribución POT Cemex (2019). Elaboración propia a través del software risk simulator.

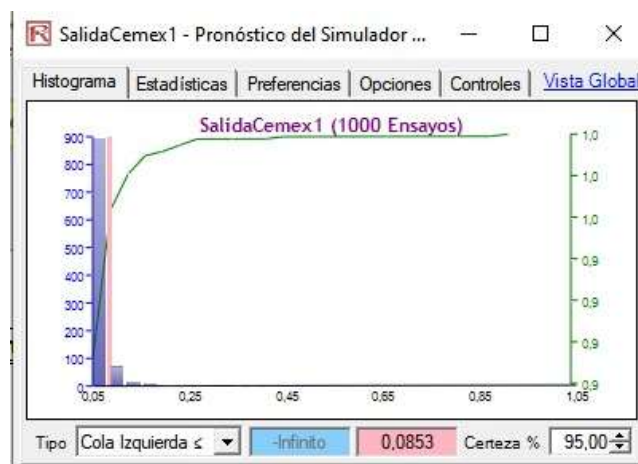


Figura 33. Percentil del VaR – Método POT Cemex (2019). Elaboración propia a través del software risk simulator.

Así que, en resumen se obtuvo que:

Precio de la acción el día 21 de junio de 2019 = COP 4.430

Percentil del VaR para el día 24 de junio de 2019 = 0,0853 = 8,53%

TVE VaR (Pérdida máxima no esperada 24.06.2019) = 1.545 \* 8,53% = COP 131,78

De lo que se infiere que, a un nivel de confianza del 95%, el percentil de VaR bajo esta metodología es de 8,53% representa la pérdida máxima que puede tener la acción en términos porcentuales el día 24 de junio de 2019, y el VaR de COP 131,78 corresponde a dicha pérdida en términos monetarios.

**2.2.3. Acción Ordinaria de Corficolombiana.** Para calcular la pérdida máxima no esperada bajo esta metodología en la acción de Cemex para el día 24 de junio, se siguieron los mismos pasos descritos en la acción de Corficolombiana. De modo que, los 16 umbrales y medias de excesos que se obtuvieron fueron:

Percentil	Umbral	Media de excesos
75,00%	1,29%	1,14%
76,00%	1,35%	1,13%
77,00%	1,40%	1,13%
78,00%	1,42%	1,16%
79,00%	1,45%	1,19%
80,00%	1,52%	1,18%
81,00%	1,55%	1,20%
82,00%	1,59%	1,23%
83,00%	1,61%	1,28%
84,00%	1,69%	1,29%
85,00%	1,76%	1,30%
86,00%	1,83%	1,32%
87,00%	1,94%	1,30%
88,00%	2,01%	1,34%
89,00%	2,15%	1,31%
90,00%	2,17%	1,42%

Tabla 23. Umbrales y medias de excesos de Corficolombiana (2019). Elaboración propia.

El umbral escogido en este caso de acuerdo a la gráfica que se muestra a continuación fue, 1,51%; y por ende los datos que sobrepasen este valor serán los picos sobre el umbral:



Figura 34. Umbrales vs medias de excesos y umbral escogido para Corfic Colombiana (2019). Elaboración propia.

De modo que los picos que se encontraron sobre este umbral fueron 102:

PICOS SOBRE EL UMBRAL							
Fecha	Pérdidas	Fecha	Pérdidas	Fecha	Pérdidas	Fecha	Pérdidas
05/01/2015	3,46%	16/12/2015	1,87%	31/05/2017	1,83%	16/10/2018	2,14%
15/01/2015	2,01%	07/01/2016	5,07%	05/06/2017	3,57%	25/10/2018	4,42%
26/01/2015	2,02%	15/01/2016	2,28%	20/06/2017	1,79%	31/10/2018	4,47%
28/01/2015	3,35%	23/02/2016	1,74%	15/09/2017	3,56%	14/11/2018	3,38%
30/01/2015	1,71%	28/03/2016	2,32%	16/01/2018	1,60%	20/11/2018	4,76%
03/03/2015	1,94%	26/05/2016	1,59%	31/01/2018	2,64%	21/11/2018	9,02%
06/03/2015	4,03%	08/06/2016	1,77%	07/02/2018	1,58%	22/11/2018	2,59%
09/03/2015	2,86%	01/09/2016	2,49%	09/02/2018	1,71%	27/11/2018	2,62%
20/03/2015	3,45%	10/11/2016	2,16%	16/02/2018	2,06%	03/12/2018	2,71%
07/05/2015	2,16%	11/11/2016	1,60%	27/02/2018	1,92%	07/12/2018	1,54%
12/06/2015	1,68%	19/01/2017	1,83%	28/02/2018	1,96%	17/12/2018	1,57%
16/06/2015	1,60%	26/01/2017	1,55%	01/03/2018	3,53%	19/12/2018	3,99%
19/06/2015	1,95%	27/01/2017	2,32%	07/03/2018	1,54%	20/12/2018	4,28%
13/08/2015	2,87%	13/02/2017	3,35%	19/04/2018	1,65%	02/01/2019	2,47%
21/08/2015	2,89%	14/02/2017	15,87%	07/05/2018	1,61%	16/01/2019	1,86%
24/08/2015	3,80%	16/02/2017	1,68%	10/05/2018	1,55%	29/01/2019	3,14%
01/09/2015	1,93%	17/02/2017	4,15%	19/06/2018	1,81%	31/01/2019	2,49%
22/09/2015	2,17%	27/02/2017	2,36%	06/07/2018	2,00%	27/03/2019	1,52%
14/10/2015	1,56%	01/03/2017	1,58%	25/07/2018	1,73%	02/04/2019	1,52%
13/11/2015	2,17%	06/03/2017	3,84%	31/07/2018	2,20%	07/05/2019	4,10%
17/11/2015	2,17%	07/03/2017	2,49%	14/09/2018	3,52%	08/05/2019	1,60%
27/11/2015	2,05%	08/03/2017	2,71%	19/09/2018	3,13%	09/05/2019	2,15%
01/12/2015	2,74%	07/04/2017	1,66%	24/09/2018	3,62%	13/05/2019	3,02%
02/12/2015	2,16%	10/05/2017	1,76%	01/10/2018	2,30%	28/05/2019	2,87%
09/12/2015	3,08%	16/05/2017	5,75%	05/10/2018	2,35%		
11/12/2015	2,47%	17/05/2017	1,69%	10/10/2018	1,94%		

Tabla 24. Picos sobre el umbral determinado para Corfic Colombiana (2019). Elaboración propia.

A continuación se presenta el ajuste de distribución de estos datos y el resultado de la simulación de montecarlo. En el caso de la distribución, la que más se ajusta en este caso con P value del 74,57% y con parámetros alfa (forma) = 2,00 y beta (ubicación) = 0,02 es la distribución de probabilidad de Pareto. Y el Percentil del VaR en este caso es de 0,0615:

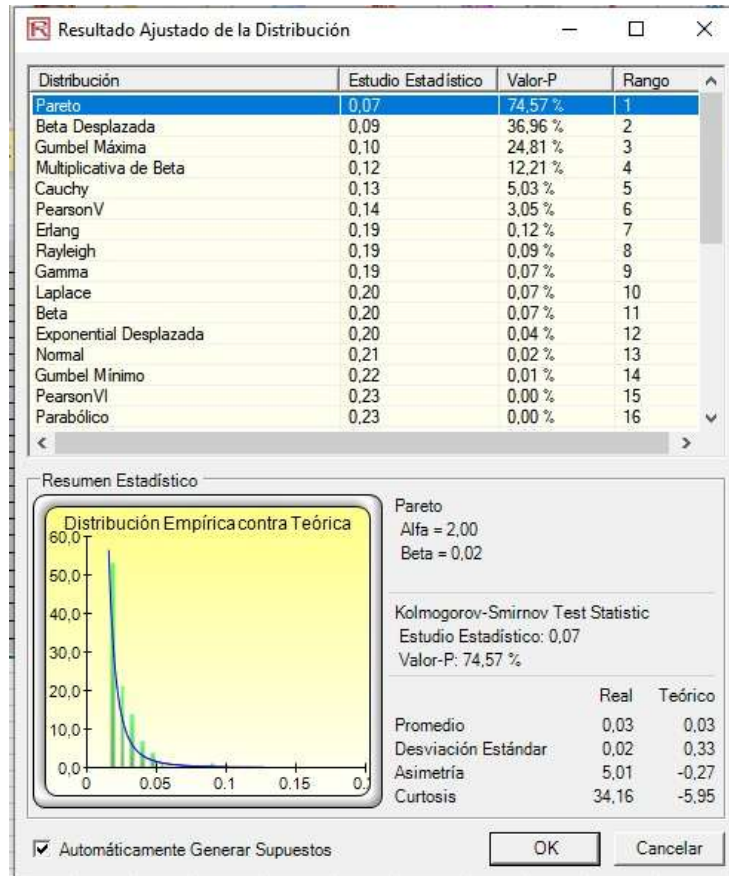


Figura 35. Ajuste de distribución POT Corficolombiana (2019). Elaboración propia a través del software risk simulator.

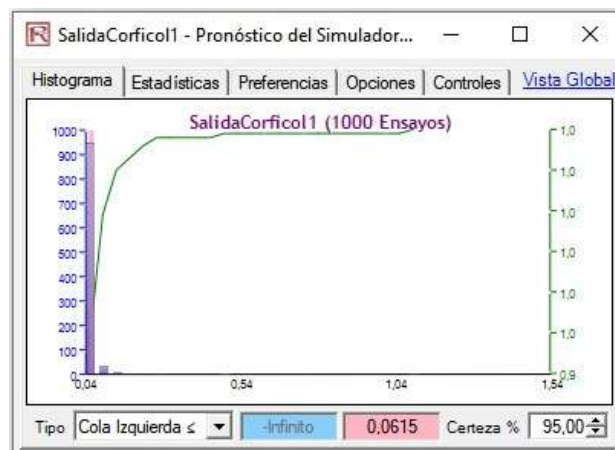


Figura 36. Percentil del VaR – Método POT Corficolombiana (2019). Elaboración propia a través del software risk simulator.

Así que, en resumen se obtuvo que:

Precio de la acción el día 21 de junio de 2019 = COP 25.200

Percentil del VaR para el día 24 de junio de 2019 = 0,0615 = 6,15%

TVE VaR (Pérdida máxima no esperada 24.06.2019) =  $25.200 * 6,15\% = \text{COP } 1549,80$

De lo que se infiere que, a un nivel de confianza del 95%, el percentil de VaR bajo esta metodología es de 6,15% representa la pérdida máxima que puede tener la acción en términos porcentuales el día 24 de junio de 2019, y el VaR de COP 1.549,80 corresponde a dicha pérdida en términos monetarios.

### **Capítulo 3: Backtesting**

Con el objetivo de comprobar cuál de las dos metodologías que comprende la TVE: Picos sobre el umbral o Bloques máximos es más efectiva para hallar pérdidas extremas, se hizo un proceso de backtesting, en donde se hallaron durante 80 días las pérdidas máximas no esperadas para cada una de las tres acciones escogidas, siguiendo en cada uno de los días el proceso descrito tanto para los Bloques Máximos como para los POT y trabajando siempre con una muestra inicial de rendimientos de 1166 datos. De modo que, para hallar las pérdidas extremas no esperadas de un día, sea por un método o por el otro, se tomaron siempre, los datos de rendimientos de los 1166 días inmediatamente anteriores.

Vale recordar que, el proceso de backtesting compara las pérdidas halladas bajo la teoría de valores extremos (sea cual sea el método) con los datos de pérdidas reales que día a día se dieron en el mercado; de manera que, al final se hace una sumatoria para saber cuántas veces la pérdida real diaria superó a la pérdida extrema no esperada calculada. Y finalmente, a través de la fórmula de Kupiec se valida o no, si la metodología usada para hallar dichas pérdidas es correcta, o hay que hacerle correcciones o mejoras.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos bajo la prueba de Kupiec para los dos enfoques de la TVE: los bloques máximos y los picos sobre el umbral. Además, se muestra de manera gráfica los resultados obtenidos en el backtesting de 80 días que se realizó a las tres acciones.

### 3.1. Pruebas de Kupiec: Método Bloques Máximos

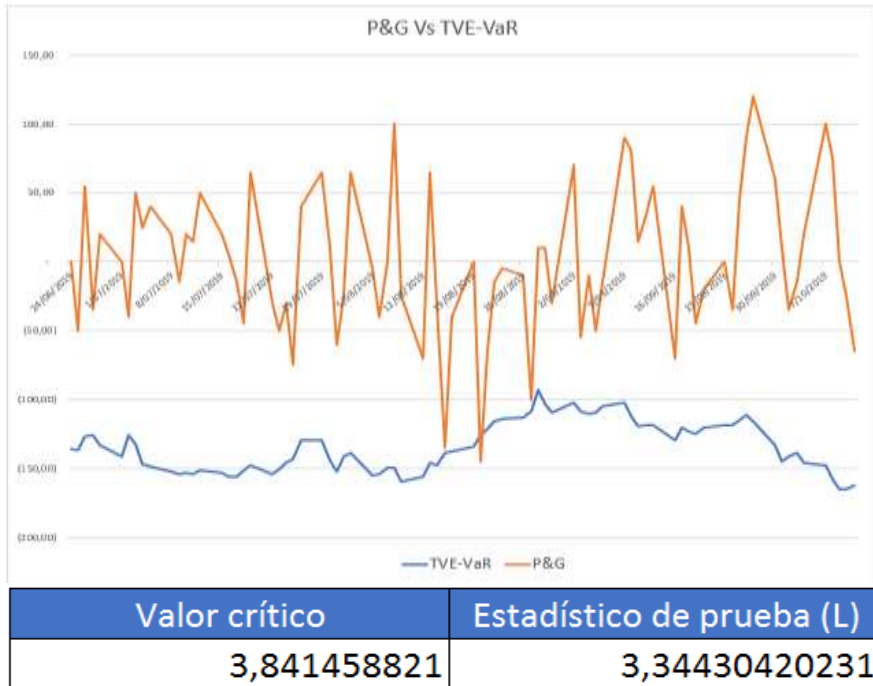


Figura 37. Prueba de Kupiec: Bloque Máximos-Avianca Preferencial (2019). Elaboración propia.

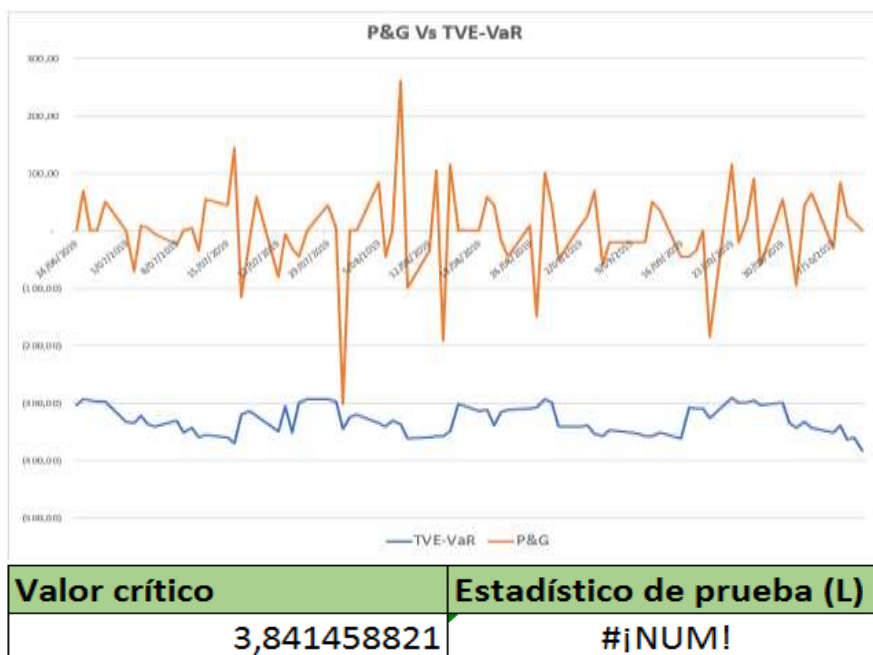


Figura 38. Prueba de Kupiec: Bloque Máximos-Cemex (2019). Elaboración propia.

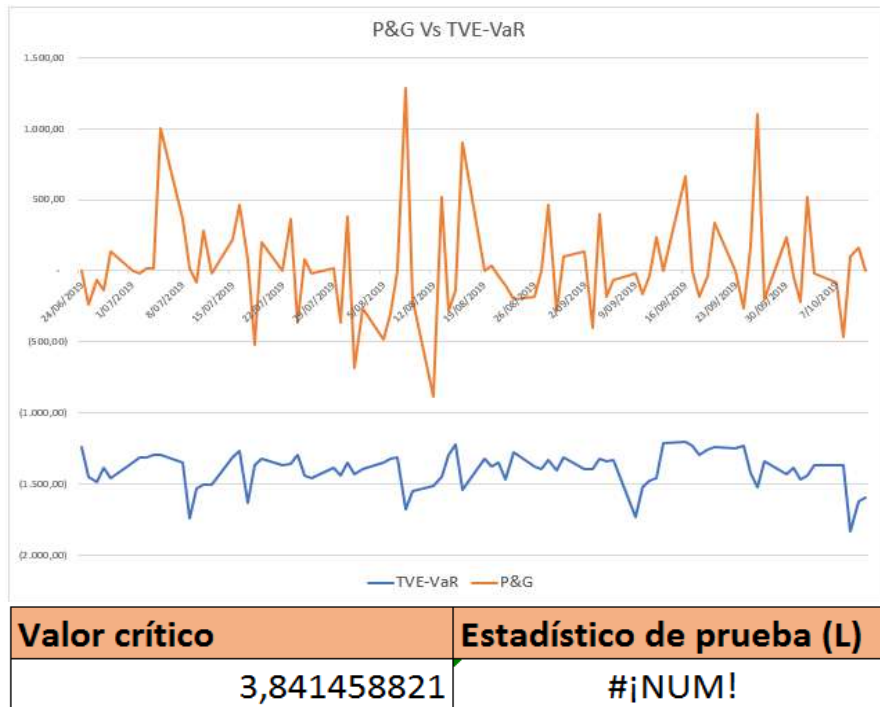


Figura 39. Prueba de Kupiec: Bloque Máximos-Corficolombiana (2019). Elaboración propia.

En las tres tablas anteriores pueden verse los resultados de la prueba de kupiec con los que se evalúa el desempeño de la metodología de Bloque máximos para hallar el TVE VaR. De modo que, en el caso de la acción preferencial de Avianca, con un nivel de confianza del 95% y 1 grado de libertad; el valor crítico resultó ser de 3,84; y, teniendo 1 fallas (es decir, la pérdida real en el valor de la acción superó al valor pronosticado como pérdida máxima por el VaR en una ocasión) el valor del estadístico de prueba fue de 3,34. En este caso, la metodología usada para calcular las pérdidas es buena ya que el valor del estadístico de prueba no superó al valor crítico.

En el caso de Cemex, el valor crítico es el mismo (es igual en los tres ya que se calcula con el mismo nivel de confianza y las misma cantidad de grados de libertad); y, el valor del estadístico de prueba, teniendo 0 fallas, resultó ser un error numérico. Por lo que cabe aclarar que, siempre que la cantidad de fallas sea 0 (cero) el valor del estadístico por cuestiones matemáticas arrojará como resultado dicho error. Con la acción de Corficolombiana también se obtuvieron cero fallas por lo que el valor del estadístico de prueba también resultó en el error que se mencionó anteriormente. Esta situación, tanto para Corficolombiana como para Cemex quiere decir que la metodología usada para calcular el TVE VaR bajo el enfoque de bloques máximos es correcto.

### 3.2. Pruebas de Kupiec: Método Picos sobre el umbral

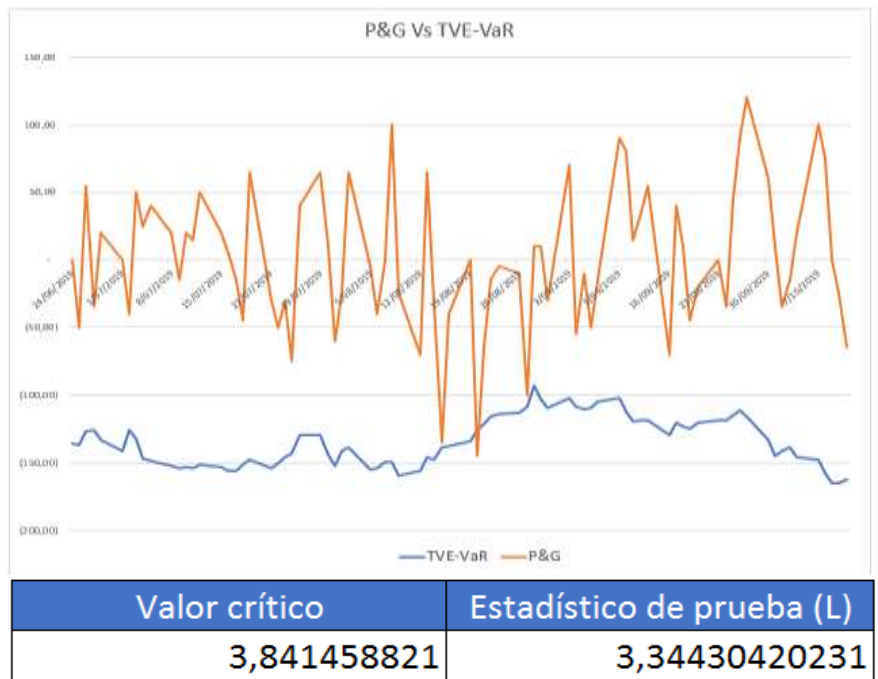


Figura 40. Prueba de Kupiec: POT-Avianca Preferencial (2019). Elaboración propia.

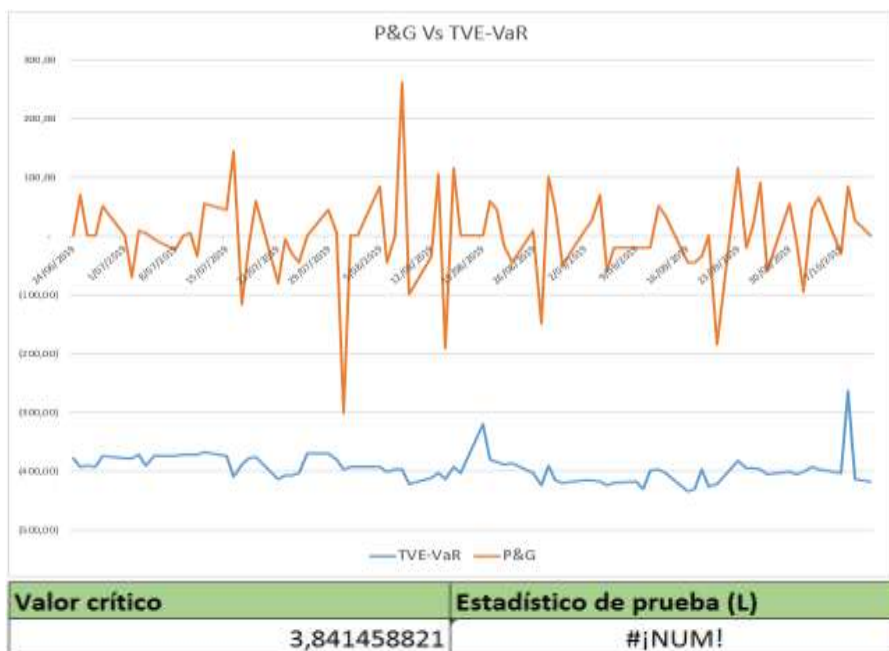


Figura 41. Prueba de Kupiec: POT-Cemex (2019). Elaboración propia.



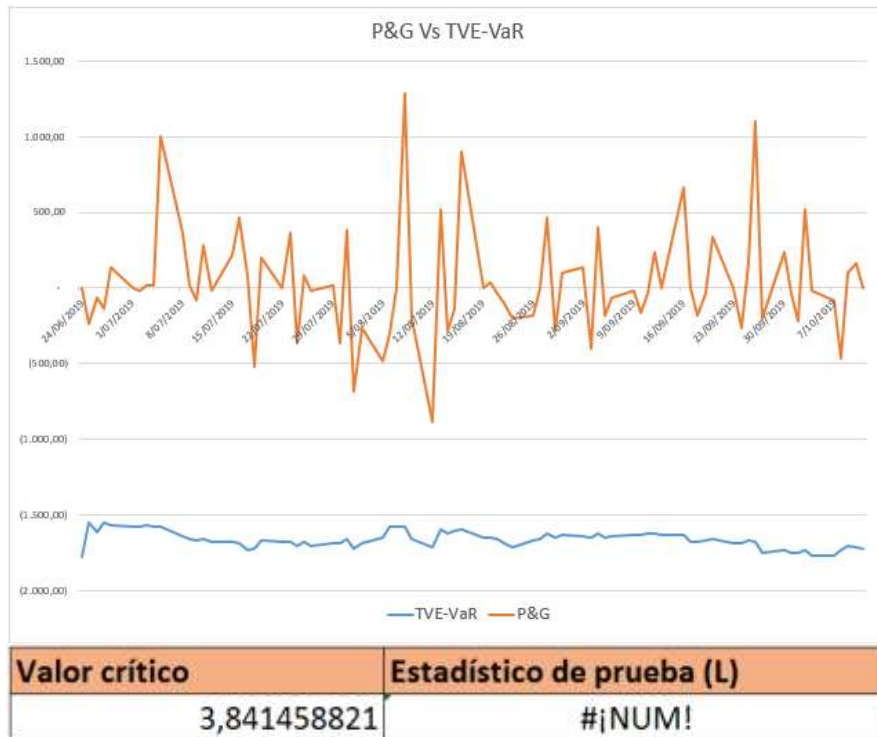


Figura 42. Prueba de Kupiec: POT-Corficolombiana (2019). Elaboración propia.

En las tres tablas anteriores pueden verse los resultados de la prueba de kupiec con los que se evalúa el desempeño de la metodología de Picos sobre el Umbral para hallar el TVE VaR. De modo que, en el caso de la acción preferencial de Avianca, con un nivel de confianza del 95% y 1 grado de libertad; el valor crítico resultó ser de 3,84; y, teniendo 3 fallas (es decir, la pérdida real en el valor de la acción superó al valor pronosticado como pérdida máxima por el VaR en tres ocasiones) el valor del estadístico de prueba fue de 0,28. En este caso, la metodología usada para calcular las pérdidas es buena ya que el valor del estadístico de prueba no superó al valor crítico.

En el caso de Cemex, el valor del estadístico de prueba, teniendo 0 fallas, resultó ser un error numérico. Con la acción de Corficolombiana también se obtuvieron cero fallas por lo que el valor del estadístico de prueba también resultó en el error que se mencionó anteriormente. Por ende, para estas dos acciones el proceso seguido para calcular el TVE VaR bajo el enfoque de picos sobre el umbral es correcto y acertado para predecir las pérdidas máximas que puedan tener el mercado real estas dos acciones.

## Conclusiones

Luego de finalizar el enfoque teórico y práctico del presente trabajo, se ha concluido; para empezar, que existe una gran cantidad de información relacionada con el tema “valores extremos” disponible en la web, desde artículos científicos y tesis de grado, hasta páginas menos formales como blogs; así mismo, pueden encontrarse aplicaciones en diferentes disciplinas, tales como la hidrología, ciencias geológicas, sismología, entre otras. Por lo que es complejo hacer una búsqueda en la que se pueda confiar cien por ciento en la información encontrada a la primera oportunidad y por ende se realizó una búsqueda minuciosa de cada tema expuesto en la presente tesis de grado. La teoría de valores extremos viene desarrollándose desde hace ya varias décadas y hoy en día, lo que se tiene claro sobre esta, es que se trata de una rama de la estadística que se encarga de estudiar eventos catastróficos que tienen baja probabilidad de frecuencia y alto impacto cuando ocurren. Actualmente la teoría contempla dos metodologías o procesos para poder abordarla; la primera, conocida como Bloques Máximos y la segunda como Picos sobre el Umbral. En el caso de los Bloques máximos la idea es dividir la muestra en periodos iguales y hallar el dato máximo (en este caso de pérdida en el rendimiento de la acción) en cada uno de estos. Para el caso de los Picos sobre el umbral, la idea es conseguir un umbral que no sea ni tan alto ni tan bajo, desde el cual los datos de la muestra comenzarán a ser llamados extremos. A partir de los datos obtenidos en el método de Bloques Máximos se obtiene una distribución perteneciente a la familia de la Distribución Generalizada de Valor extremo: Weibull, Gumbel o Frechet. Y, a partir de los datos que exceden el umbral en el enfoque POT se llega a una distribución perteneciente a la familia de la Distribución Generalizada de Pareto: Pareto, Exponencial o Beta.

Para el desarrollo del enfoque práctico, se trabajó con las acciones más volátiles del índice COLCAP; por consiguiente, se descubrió que la Acción Preferencial de Avianca, la Acción Ordinaria de Cemex y la de Corficolombiana son las que presentaron una mayor variabilidad en sus precios entre enero del 2015 y junio del 2019. A su vez estas acciones están categorizadas con alta bursatilidad en los reportes de la Superintendencia Financiera de Colombia y presentan niveles de curtosis muy altos. De modo que, efectivamente se hizo una buena selección de acciones, ya que estas son las características de los activos que muestran valores atípicos o extremos; y por esta razón los valores presentes en las colas de distribución poseen una baja concentración.

A través del enfoque de los bloques máximos se obtuvieron siempre 53 datos extremos, los cuales corresponden al valor de pérdida más alta presente en cada bloque; recordando que cada bloque está compuesto por las rentabilidades de veintidós días bursátiles. Y, en el caso del método de Picos sobre el Umbral, se obtuvieron para cada día en que se calcularon las pérdidas máximas, diferentes cantidades de datos, debido a que de acuerdo a lo alto o a lo bajo del umbral escogido, resulta diferente el número de pérdidas que lo sobrepasan y por ende son tomadas como extremas. En resumen, se obtuvieron entre 70 y 100 datos extremos mediante esta última metodología.

En primera instancia el método más sencillo de usar es el de los Bloques máximos ya que solamente debe dividirse la muestra de rendimientos en bloques iguales y tomarse el dato de pérdida máximo presente en cada uno. En cambio, el enfoque de picos sobre el umbral requiere de un proceso más largo, sobre todo al momento de determinar el umbral; además, la forma gráfica que se usó para hallarlo es subjetiva. Ya que, debe elegirse un umbral alto, de modo que la distribución de excesos se aproxime a la familia de distribuciones pertenecientes a la GPD; pero a la vez, se debe tener una cantidad de datos extremos suficientes que permita que los parámetros que poseen esta familia de distribuciones puedan ser estimados de manera correcta. Y, si el umbral es bajo se estarían incluyendo datos que forman parte del centro de la distribución y no de las colas; por lo que el valor de las pérdidas no esperadas se asemejaría a las pérdidas esperadas calculadas con el VaR. Sin embargo, con los resultados obtenidos en el ejercicio práctico pueden obtenerse conclusiones más precisas.

En el caso de Cemex, ambos enfoques arrojaron cero fallas, por lo que la prueba de kupiec garantiza que el modelo es confiable y consistente para pronosticar pérdidas no esperadas. Para Corficolombiana, el caso fue el mismo, las fallas en el backtesting fueron cero, y por ende confirma la confiabilidad del modelo. Hasta este momento se tiene claro que los enfoques de la teoría de valores extremos pronostican de manera correcta las pérdidas no esperadas para el precio de una acción por exposición a riesgo de mercado; sin embargo aún no hay claridad de cuál de los dos enfoques lo hace de mejor manera.

Finalmente, al trabajar con la acción preferencial de Avianca, a través del método de bloques máximos se observó que en uno de los ochenta días de backtesting el valor de pérdida real fue superior al pronosticado por el TVE VaR; y a través del método POT se obtuvo que el total de fallas o días en los que la pérdida real fue mayor a la pronosticada fue de 3. Aunque la

cantidad de fallos es muy baja en comparación con los días de backtesting y por ende la prueba de kupiec aprueba que el proceso usado para hallar estas pérdidas es funcional.

Por todo lo anterior, el presente trabajo concluye que el método que mejor estima las pérdidas no esperadas de las acciones más volátiles del índice Colcap por exposición a riesgo de mercado es el de Bloque Máximos; debido a que, además de que su proceso requiere una menor complejidad, no presenta la subjetividad que posee el enfoque POT. Si bien es cierto, que el enfoque de bloques máximos puede tener también cierto nivel de subjetividad a la hora de escoger el tamaño de cada bloque, un cambio en el tamaño del mismo, no implica que la muestra de pérdidas extremas resultante no se ajuste a una distribución distinta a las de la familia de distribuciones GEV; en cambio, una variación del umbral escogido en el método POT si involucra un cambio importante en la distribución de ajuste, arrojando incluso, distribuciones que no pertenecen a la familia de distribuciones GPD y por ende no permitiendo aplicar la teoría de valores extremos.

## Bibliografía

Albeverio, S., Jentsch, V., & Kantz, H. (2005). *Extreme events nature and society*. Springer. Bacca, G., & Marcelino, M. (2016). *Ingeniería Financiera*. Patria.

Baena, D. and Hoyos, H. (2016). *Sistema financiero Colombiano*. 2da edición. Bogotá: Ecoe Ediciones.

Basel, C. (2019). Minimum capital requirements for market risk. Recuperado de <https://www.bis.org/bcbs/publ/d457.pdf>.

Blanco, A. (2015). *Gestión de entidades financieras. Un enfoque práctico de la gestión bancaria actual*. (1st ed., p. 240). Madrid: Esic.

Cabedo, D., & Clemente, I. (2000). *Valor en riesgo y recursos propios en las entidades bancarias* (3rd ed., p. 67). Castellón de la Plana: Publicacions de la Universitat Jaume.

Caixabank. (2019). La volatilidad en los mercados (p. 1). Recuperado de <https://www.caixabank.com/deployedfiles/caixabank/Estaticos/PDFs/AprendaConCaixaBank/aula753.pdf>.

Capel, R. (2019). *Tratamiento del riesgo de liquidez en Basilea III y su impacto en la fijación de precios*. Universidad Pontificia Comillas ICAI-ICADE.

Cárdenas, É. (2013). *Teoría de valor extremo aplicado al riesgo de precio de la energía eléctrica en Colombia*. Pregrado. Universidad Autónoma de Bucaramanga.

Cardozo, P. (2004). *Valor en riesgo de los activos financieros colombianos aplicando la teoría de valor extremo*. Banco de la República. Recuperado de <http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/pdfs/borra304.pdf>.

Casas, M., & Cepeda, E. (2008). *Modelos Arch, Garch y E-garch: aplicaciones a series financieras*. Red De Revistas Científicas De América Latina, El Caribe, España Y Portugal. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2821/282122032011.pdf>.

Castillo, E. (1988). *Estadística de Valores Extremos: Distribuciones Asintóticas*. Cantabria: Universidad Cantabria.

Chávez, N. (2019). *Modelo Arch y Garch [PDF]* (pp. 1 - 3). Retrieved from <http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rv/n1/n1a03.pdf>.

Claro, F., Contador, S., & Quiroga, C. (2006). *Teoría del Valor Extremo: Aplicación de la teoría al Índice NASDAQ*. Universidad Chile.

Cuellar, W. (2012). *Teoría de Valores Extremos [Blog]*. Recuperado de: <http://teoriadevaloresextremos.blogspot.com/>.

Cuevas, G. I. (2011). Teoría de valores extremos empleada en la gestión de riesgo financiero. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Recuperado de [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104224/cfcuevas\\_gr.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104224/cfcuevas_gr.pdf?sequence=3&isAllowed=y).

De Hans, L., & Ferreira, A. (2006). *Extreme Value Theory. An Introduction*. Springer.

De Lara, A. (2005). *Medición y control de riesgos financieros*. Limusa. Recuperado de [https://books.google.com.co/books?id=PrQvTEWLqoC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=PrQvTEWLqoC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).

Delgado, E. (2019). ISO 31000:2018 – Proceso para la gestión de riesgos [Blog]. Recuperado de <https://spcgroup.com.mx/iso310002018-proceso-para-la-gestion-de-riesgos/>.

Embrechts, P., Klüppelberg, C., & Mikosh, T. (2003). *Modelling Extremal Events: For Insurance and Finance* (1st ed., pp. 150-160). Nueva York: Departamento de matemáticas y estadísticas de la Universidad de Columbia.

Es.slideshare.net. (2019). ISO 31000 2018 Gestión de Riesgos. [En línea] Disponible en: <https://es.slideshare.net/JoseSzarfman/iso-31000-2018-gestion-de-riesgos> [Recuperado el 11 Nov. 2019].

Feria, J. (2019). *El riesgo de mercado. Su medición y control* (1ra edición, p. 7). Madrid: Fernando García.

Fisher, R., & Tippett, L. (1928). “On the Estimation of the Frequency Distributions of the Largest or Smallest Member of a Sample. *Proceeding of the Cambridge Philosophical Society*,

Flórez, M. (2008). *Administración del riesgo operativo en las operaciones de crédito de primer piso instrumentadas por la Corporación Financiera Nacional (Maestría)*. Universidad Andina Simón Bolívar.

Gale, T. (2008). Bortkiewicz, Ladislaus Von. Recuperado de: <https://www.encyclopedia.com/social-sciences/applied-and-social-sciences-magazines/bortkiewicz-ladislaus-von>.

Galton, F. (1885a). Some results of the Anthropometric Laboratory. *J. Anthropol. Inst.*, 16, (p. 275-287).

García, A. (2004). *La teoría del valor extremo: una aplicación al sector asegurador*. Madrid: Universidad de Alcalá de Henares.

García, C., Meza, A., & Ventura, B. (2017). *Métodos de cálculo del valor en riesgo*. San Cristóbal de La Laguna: Universidad de la Laguna. Recuperado de

<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/5962/METODOS%20DE%20CALCULO%20DE%20L%20VALOR%20EN%20RIESGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Gestión del riesgo - Directrices. Recuperado el 9 Noviembre 2019, de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>.

Gnedenko, B. (1943). Sur la Distribution Limite du Terme Maximum d'une Série.

Group of Thrity. (1994). Derivatives: Practices and principles- Follow up surveys of industry practices. Washington DC.

Hernández, C. (2019). ISO 31000-2018: evaluación de riesgos - Instituto Nacional de Contadores Públicos de Colombia. [En línea] Instituto Nacional de Contadores Públicos de Colombia. Disponible en: <https://www.incp.org.co/iso-31000-2018-evaluacion-riesgos/> [Recuperado el 11 Nov. 2019].

Ibáñez, A. (2011). Análisis estadístico de valores extremos y aplicaciones. Granada: Universidad de Granada.

Isotools. (2017). La norma en Gestión de Riesgos ISO 31000 y sus beneficios [Blog]. Recuperado de <https://www.isotools.org/2017/10/15/gestion-de-riesgos-iso-31000-y-sus-beneficios/>.

Isotools. (2018). Principales cambios de la norma ISO 31000:2018 de Gestión de Riesgos [Blog]. Recuperado de <https://www.isotools.org/2018/06/06/principales-cambios-norma-iso-310002018-gestion-riesgos/>.

Jiménez, R. (2019). El comité de Basilea y sus principios básicos [Blog]. Recuperado de <http://blog.pucp.edu.pe/blog/renzojimenez/2008/06/10/el-comite-de-basilea-y-sus-principi>

Johnson, C. (2001). Value at risk: teoría y aplicaciones. Estudios de Economía, [online] 28(2). Disponible en: <http://econ.uchile.cl/uploads/publicacion/d21e154f-3899-428d-9a68-255c3a876963.pdf> [Recuperado el 11 Nov. 2019].

Jorion, P. (2007). Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial (Tercera ed.). McGraw Hill. Recuperado de [https://www.academia.edu/8519246/Philippe\\_Jorion\\_-\\_Value\\_at\\_Risk\\_\\_The\\_New\\_Benchmark\\_for\\_Managing\\_Financial\\_Risk\\_3rd\\_Ed\\_2007](https://www.academia.edu/8519246/Philippe_Jorion_-_Value_at_Risk__The_New_Benchmark_for_Managing_Financial_Risk_3rd_Ed_2007).

Lefcovich, M. (2009). La gestión del riesgo. Recuperado de <https://ebookcentral-proquest-com.aure.unab.edu.co>.

Leiva, R. (2015). Riesgos financieros después de la crisis subprime. Banca y Finanzas, 20. Recuperado de <https://www.redalyc.org/html/2816/281621776003/>.

Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental. (2019). Recuperado el 9 de noviembre 2019, de <https://www.boe.es/eli/es/l/2007/10/23/26/con>

McNeil, A., Rudiger, F., & Embrechts, P. (2004). *Quantitative Risk Management: Concepts, Techniques and Tools*. Por publicar.

Melo, L., & Becerra, O. (2005). *Medidas de riesgo, características y técnicas de medición: una aplicación del VaR y ES a la tasa interbancaria de Colombia*. Banco de Republica.

Minitab LLC (2019). *Seleccionar la distribución y los parámetros - Minitab*. [En línea] Support.minitab.com. Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/graphs/probability-distribution-plot/create-the-graph/select-the-distribution-and-parameters/#binomial> [Recuperado el 11 Nov. 2019].

N/A. *Gestión de riesgo* [PDF] (p. 1). Recuperado de [https://www.eird.org/cd/toolkit08/material/proteccioninfraestructura/gestion\\_de\\_riesgo\\_de\\_a\\_menaza/8\\_gestion\\_de\\_riesgo.pdf](https://www.eird.org/cd/toolkit08/material/proteccioninfraestructura/gestion_de_riesgo_de_a_menaza/8_gestion_de_riesgo.pdf).

Novales, A. (2016). *Valor en Riesgo*. [PDF] Madrid. Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41460/Valor%20en%20Riesgo.pdf> [Recuperado el 11 Nov. 2019].

Ortega, J. (2008). *Introducción a la teoría de valores extremos* [Ebook] (Primera edición., pp. 30-41). Montevideo. Recuperado de: <https://www.cimat.mx/~jortega/MaterialDidactico/ExtrMVD/MvdClase1.pdf>.

Paéz, G. (2006). *Volatilida EWMA vs volatilidad histórica, una prueba empírica sobre la validez de modelos de pronóstico de volatilidad de las tasas de captación a corto plazo en Colombia*. Bogotá DC: Universidad Javeriana. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/9571/tesis19.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Pértegas, S., & Pita, S. (2001). *La distribución normal* (p. 1). Coruña. Recuperado de [https://www.fisterra.com/mbe/investiga/distr\\_normal/distr\\_normal2.pdf](https://www.fisterra.com/mbe/investiga/distr_normal/distr_normal2.pdf).

Plascencia, C. T. N. (2010). *Valoración del riesgo utilizando cópulas como medida de la dependencia: Aplicación al sector financiero mexicano (2002 - 2008)*. Retrieved from <https://ebookcentral-proquest-com.aure.unab.edu.co>.

Praxiom Research Group Limited (2019). *ISO 31000 2018 Risk Management Definitions in Plain English*. [En línea] Praxiom.com. Disponible en: <https://www.praxiom.com/iso-31000-terms.htm#RiskManagementFramework> [Recuperado el 11 Nov. 2019].

¿Qué es el riesgo financiero? 5 consejos para evitarlo. (2015). [Blog]. Recuperado de <https://www.bbva.com/es/finanzas-para-todos-el-riesgo-financiero-y-sus-tipos/>



Real Academia Española. (2019). Riesgo. *Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española*. Madrid. Recuperado de <https://dej.rae.es/lema/riesgo>.

Rios, R. (2017). Metodología para la investigación y redacción. Málaga: Servicios Académicos Intercontinentales S.L.

Romero, R. (2019). Medidas de riesgo financiero. *Economía y Administración*, [En línea] pp.1-7. Disponible en: [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/127411/149%20Medidas\\_de\\_Riesgo\\_Financiero\\_Rafael\\_Romero\\_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/127411/149%20Medidas_de_Riesgo_Financiero_Rafael_Romero_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [Recuperado el 11 Nov. 2019].

Salinas Ávila, John Jairo (2009). Metodologías de medición del riesgo de mercado. *Innovar. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=818/81818977013>.

Samaniego Medina, R. (2008). El riesgo de crédito en el marco del acuerdo de Basilea II (1st ed.). Las Rozas: Fernando García.

Sevilla, A. (2019). VaR paramétrico - Definición, qué es y concepto | Economipedia. [En línea] Economipedia. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/var-parametrico.html> [Recuperado el 11 Nov. 2019].

Silva, J. (s.f.). Importancia de la Gestión de Riesgos. [Blog] José Silva. Corredora de seguros SA. Disponible en: <http://www.josilva.com/blog/Posts/show/importancia-de-la-gestion-de-riesgos-734> [Recuperado el 11 Nov. 2019].

Superintendencia de bancos y entidades financieras de Bolivia. (2019). Riesgo de crédito. *Glosario de términos de los acuerdos de capital de Basilea I y Basilea II* (1ra edición., p. 185). La Paz: Intendencia de implantación basilea. Recuperado de <http://www.tradulex.com/Glossaries/Baseli+II-es-en.pdf>.

Superintendencia Financiera de Colombia (1995). Circular Básica Contable y Financiera. Bogotá, Capítulos 2, 6, 21 y 23.

Taleb, N. N. (2009). Riesgos financieros después de la crisis subprime. *Banca y Finanzas*, 20.

Taleb, N. (2007). El cine negro: el impacto de lo altamente improbable. New York: Random House.

Uribe, J., & Ulloa, I. (2012). La medición del riesgo en eventos extremos, una revisión metodológica en contexto. Medellín: Lecturas de Economía. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/le/n76/n76a04.pdf>.

Valor en riesgo (VaR) calculado por simulación histórica. (2019). Recuperado de: [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2006/1/IN56B/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=945](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2006/1/IN56B/1/material_docente/bajar?id_material=945).

Vegas, P., Calvo, P., & Varó, V. (17 de 10 de 2007). Lunes negro de 1987: el parqué de Wall Street hizo 'crash'. El Economista. Recuperado de <https://normasapa.com/como-referenciar-articulos-deperiodico/>.

Velasco, F., & Hernández, S. (2007). Teoría de valores extremos: una introducción. Ciencias Básicas UJAT.