

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

**Application of the Extreme Value theory to determine unexpected losses to the most volatile shares of the Colcap Index**

Liliana Janeth Colmenares Benavides

Jorge Eliécer Mónoga Cadena

**Resumen**

Las pérdidas por exposición al riesgo de mercado se pueden valorar a través de metodologías estadísticas como el VaR (Valor en riesgo), el cual estima la pérdida máxima en el precio de un activo, partiendo del supuesto de que el mercado está en condiciones normales. Sin embargo, los mercados financieros no siempre presentan estas condiciones de normalidad, ya que hay momentos en los que por diversos factores, este presenta épocas de turbulencia y alta volatilidad. Por eso, se hace necesario usar metodologías que permitan estimar pérdidas más allá de las esperadas en momentos de normalidad. La Teoría de valores extremos (TVE) es la indicada, ya que centra sus esfuerzos en identificar los valores atípicos, extremos o catastróficos que se presentan en esas épocas de turbulencia en los mercados, para posteriormente modelar y estimar pérdidas extremas no esperadas por exposición a riesgo de mercado. La TVE presenta dos enfoques a la hora de identificar datos extremos: picos sobre el umbral y bloque máximos. Por ende, esta investigación presenta una comparación entre ambas metodologías; con el fin de evaluar cual tiene mejor desempeño.

**Palabras clave:** Riesgo de mercado, VaR, TVE, medición del riesgo, bloques máximos, picos sobre el umbral.

### **Abstract**

Losses from exposure to market risk can be value through the statistic measure VaR. This measure determines the maximum loss of a financial asset, as long as the market is in normal conditions. However, the financial markets does not always present those normal conditions, because there are moments in which due to different factors, the economy presents times of turbulence and high volatility. That is why it's necessary to use methodologies that allow estimating losses beyond the expected at normal times. Extreme value theory (EVT) is the indicated procedure, because it focusses on identify those outliers, extremes or catastrophic values that happens in turbulence times in the market, and later models them, to finally estimate extreme unexpected losses due to exposure to market risk. The EVT has two approaches: the first one is called annual maxima series and the second one is called peaks over threshold. Therefore, this investigation makes a comparison between both methodologies, in order to evaluate which of these has a better performance.

**Key words:** Market risk, VaR, TVE, risk measurement, anual maxima serie, peaks over threshold.

## 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, Warren 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, el presente artículo estará compuesto por un enfoque teórico y otro práctico. Así, en la etapa inicial se desarrollará una conceptualización de la TVE que aborda 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.

### **Marco teórico**

**Riesgos financieros.** En finanzas, se entiende como riesgo financiero a la probabilidad de que un activo genere rendimientos distintos a los esperados (Bacca & Marcelino, 2016). 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. De este modo, cada activo financiero, estará expuesto a uno o más de estos riesgos, dependiendo de su naturaleza.

**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. Por ejemplo, en una acción el riesgo de mercado estará dado por el riesgo de precio.

**Medición de riesgo de mercado.** 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).

**Valor en Riesgo (VaR).** El VaR fue publicado por primera vez por el Group of Thirty (1994) y es una medida estadística para la estimación del riesgo financiero ampliamente utilizada que calcula la pérdida máxima que podría registrar un activo en un intervalo de tiempo dado, con cierto nivel de confianza (usualmente 95% y 99%),

siempre y cuando el mercado se encuentre en condiciones normales. Jorion (2007) resalta que la estimación de esta medida 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 el VaR. Actualmente existen tres métodos distintos para calcular el VaR: el método paramétrico, el método de simulación histórica y el método de montecarlo.

**Método Paramétrico.** Este método se basa en la hipótesis que los datos tienen una distribución paramétrica conocida, en este caso, distribución normal estandarizada (con media  $\mu=0$  y desviación estándar  $\sigma=1$ ).

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

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

$\alpha$ : Nivel de confianza

VA: El valor actual de la inversión inicial

$\sigma$ : La volatilidad del activo

t : Horizonte de tiempo

**Método de Simulación histórica.** Es un método no paramétrico que no asume una distribución en particular para los datos, por lo que se elimina la necesidad de estimar y trabajar con medias y volatilidades; a su vez que captura el fenómeno de las colas gruesas que caracteriza a los rendimientos de un activo en el mercado.

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

Dónde,

Percentil del VaR: Es el k percentil de la función de pérdidas

k:  $(1-\alpha)$

VA: El valor actual de la inversión inicial

**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, y 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.

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

Donde:

Percentil del VaR: Resultado del proceso de MonteCarlo (comúnmente hallado a través de Excel)

VA: Valor actual de la inversión inicial

**Valores extremos.** Según Ibáñez (2011) una definición básica de lo que son los valores extremos es la que los define 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 menciona, por ejemplo, que estos valores pueden tener diferentes

denotaciones; tales como, “excepcional”, “sorprendente” o “catastrófico” dependiendo, de lo lejano del dato respecto a la media.

**Distribución del máximo y el mínimo.** Según Velasco y Hernández (2007) la distribución del máximo y el mínimo puede describirse respectivamente de la siguiente manera:

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

$$L_n(x) = 1 - (1 - F(X))^n$$

**Teoría de valores extremos (TVE):** Según lo explican Velasco y Hernández (2007) las distribuciones descritas anteriormente, para el comportamiento del máximo y el mínimo de una muestra, no está completa, ya que la función  $F(x)$  incluida en la fórmula es desconocida y al intentar hallarla por medio de técnicas estadísticas la distribución resultante sería incorrecta. 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. 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. 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)

**Bloques máximos.** Este enfoque consiste en que la muestra de datos a analizar debe ser dividida en una cantidad  $n$  de bloques del mismo tamaño, y de cada uno de estos se debe extraer el dato máximo (o mínimo). Por ejemplo, si se tiene como



muestra los retornos de un año de una acción, se debe dividir la muestra en submuestras mensuales, de las cuales se extrae el valor máximo, y con estos se hace el análisis de valores extremos. 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.

**Distribución generalizada de valores extremos (GEV).** De acuerdo a lo descrito por García (2004), de la 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:

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

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. De manera que, si  $\xi > 0$  la distribución de ajuste resultante será Frechet, si  $\xi < 0$  se obtendrá una distribución Weibull; y, si  $\xi = 0$  la distribución resultante será Gumbel.

**Pico 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

**Distribución generalizada de Pareto (GPD).** Como lo indica García (2004) esta distribución permite ajustar los datos que exceden el umbral como  $Y = X - u$ , 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.

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

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

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

Donde “x” representa la rentabilidad del activo y “y” el exceso que está por encima del umbral “u”.

### Metodología

**Selección de acciones.** El primer paso para realizar la parte práctica del presente trabajo, es hacer una oportuna selección de acciones para trabajar la teoría. En primer lugar, se tomaron las 24 acciones que forman parte del índice COLCAP y comenzaron a aplicarse ciertos filtros que incluyen: Alta bursatilidad, alta volatilidad y alta curtosis. Hay que acotar, que se tuvieron 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. El primer criterio que se tuvo en cuenta, es la alta bursatilidad. Para ello, se tomó como base el Índice de Bursatilidad Accionaria que publica la Superintendencia Financiera de Colombia en su portal web mensualmente. El siguiente criterio que se tuvo en cuenta es la alta volatilidad. En este caso, se calculó la volatilidad histórica EWMA de las diecisiete acciones resultantes del filtro anterior. De modo que, aquellas que superaran a la media aritmética de estas diecisiete desviaciones fueron catalogadas en la categoría de alta volatilidad. Finalmente, el último criterio de selección que se tomó en cuenta es la alta curtosis. De la misma manera en que se hizo con la volatilidad, las acciones poseen altas curtosis si superaron la media aritmética de las cinco acciones resultantes del filtro anterior. Las acciones seleccionadas fueron Avianca Preferencial, Corficolombiana y Cemex.

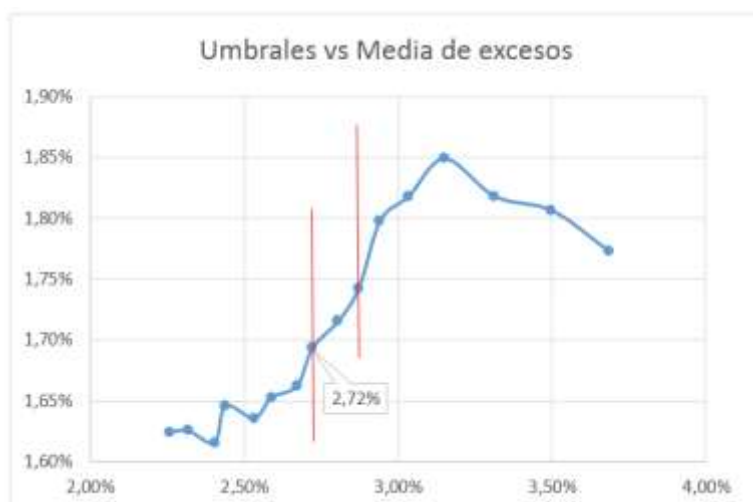
**Método de los bloques máximos.** En este caso, para cada acción, se dividió la muestra de 1166 rendimientos en bloques de 22 días cada uno, por lo que se obtuvo una cantidad de 53 bloques, de los cuales se extrajo la pérdida máxima presente en cada uno. Una vez obtenida la muestra de 53 pérdidas extremas se buscó el mejor ajuste de distribución y sus parámetros, y de manera posterior por medio del simulador de riesgo de Excel y con un nivel de confianza del 95% se encontró el percentil del TVE VaR y consecuentemente las pérdidas extremas no esperadas en términos monetarios. Las distribuciones de ajuste encontradas fueron en todas las ocasiones “Gumbel mínimo”, la cual efectivamente pertenece a la familia de la distribución generalizada del valor extremo.

Figura 1. Pérdidas extremas presentes en cada uno de los 53 bloques de Corficolombiana (2019). Elaboración propia.

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%		

**Método de picos sobre el umbral.** Para este enfoque, para cada acción se determinó de manera gráfica el umbral a partir del cual los datos de pérdida comenzaron a ser llamados extremos. Para ello, se escogieron 16 diferentes umbrales y para cada uno de estos se calculó la media aritmética de todos los excesos (pérdida en valores absolutos del día  $i$  - umbral propuesto) y posteriormente, se graficó en un plano cartesiano en el eje x los umbrales y en el eje y la media aritmética de los excesos. Al final, a partir del gráfico se escogía el umbral; ello, en la parte de la gráfica en donde esta se tornara lineal y de pendiente positiva.

Figura 2. Umbrales vs medias de excesos y umbral escogido para Avianca Preferencial(2019). Elaboración propia.



Una vez obtenidos los datos extremos (aquellos que sobrepasaron el umbral) se buscó la distribución de probabilidad de mejor ajuste y sus parámetros y finalmente con un nivel de confianza del 95% se encontró el percentil de TVE VaR y consecuentemente las pérdidas extremas no esperadas por exposición a riesgo de mercado. En este caso, si se obtuvieron diferentes tipos de distribuciones de ajuste pero todas pertenecientes a la familia de la Distribución generalizada de Pareto (DGP): Beta, Exponencial y Pareto.

## Resultados

Para evaluar los resultados obtenidos bajo ambos enfoques se propone realizar el análisis backtesting, de manera, que pueda conocerse cuál de las dos metodologías de la TVE estima las pérdidas de mejor manera.

A continuación, se muestra de manera gráfica los resultados obtenidos en el backtesting de 80 días que se realizó a las tres acciones, por cada uno de los métodos.

Figura 3. Gráfico y prueba de Kupiec del Backtesting para Cemex, Método de Bloques máximos (2019). Elaboración propia

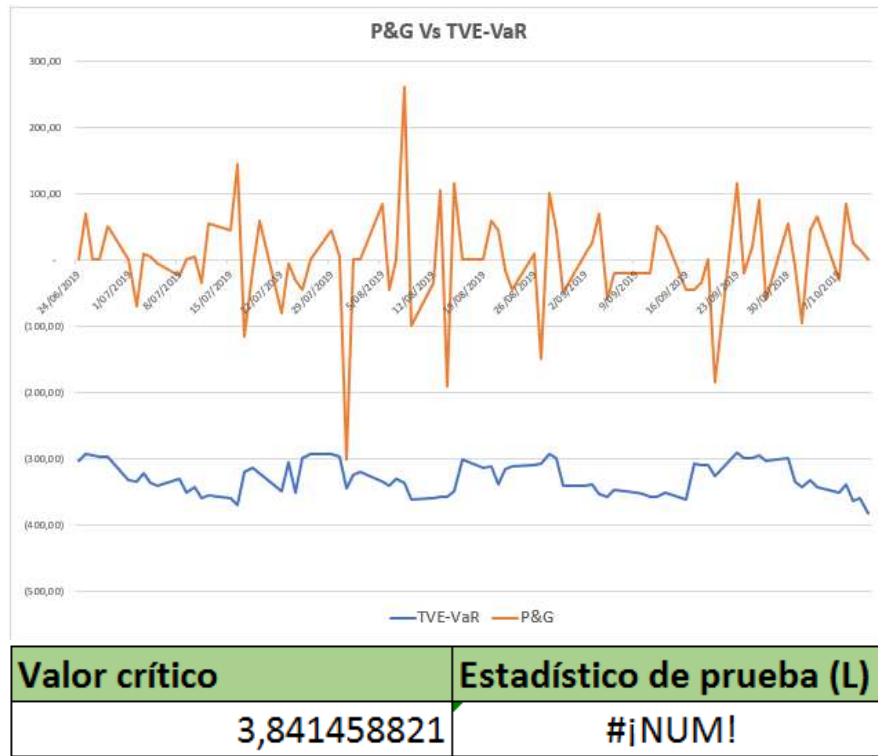


Figura 4. Gráfico y prueba de Kupiec del Backtesting para Corficolombiana, Método de Bloques Máximos (2019). Elaboración propia

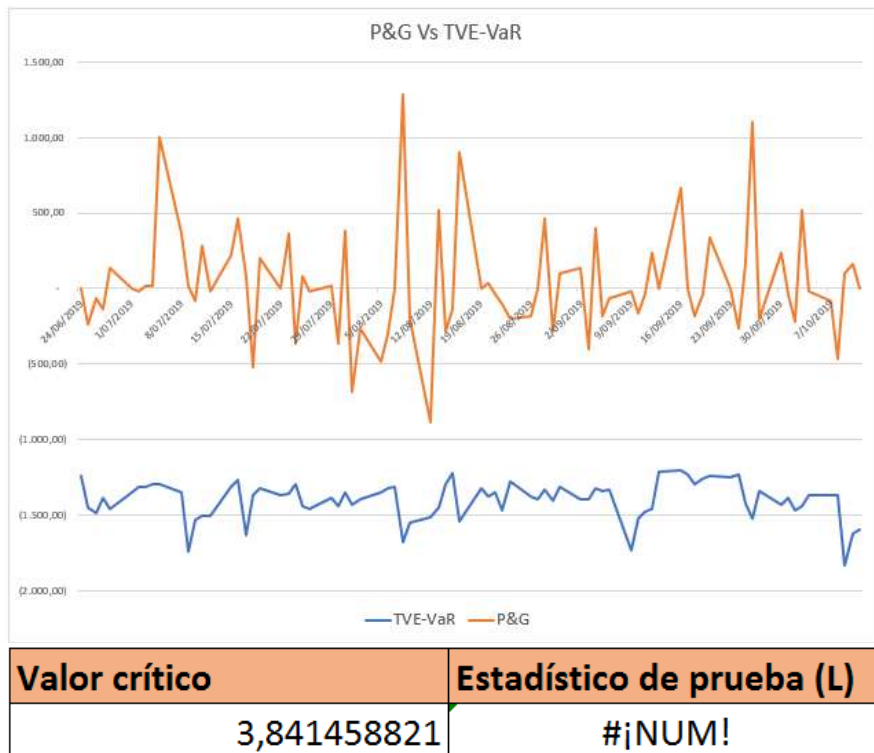
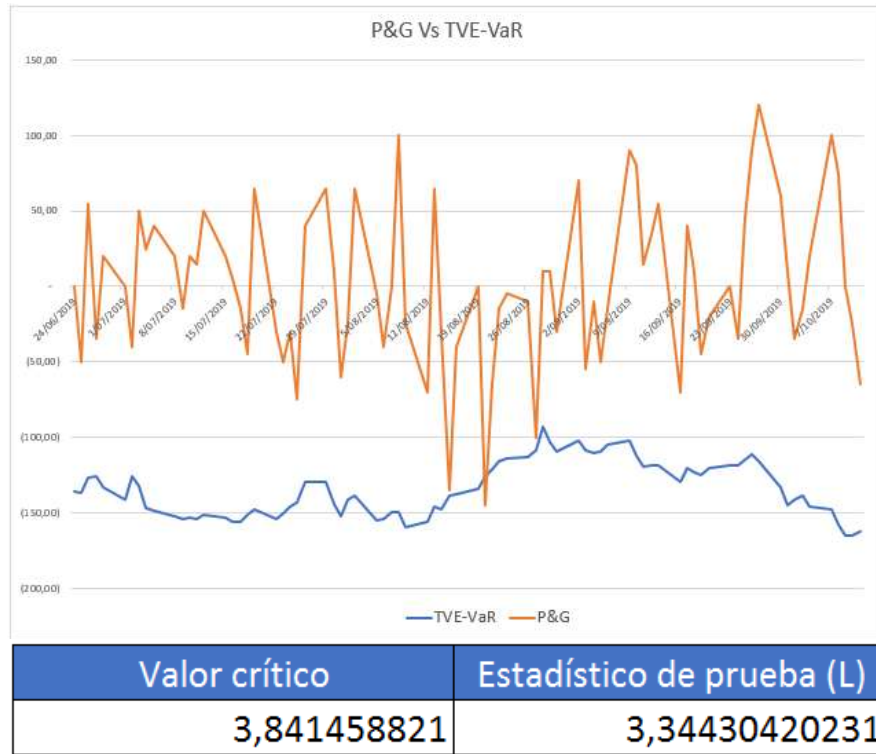


Figura 5. Gráfico y prueba de Kupiec del Backtesting para Avianca Preferencial.

Método de Bloques Máximos (2019). Elaboración propia



En las gráficas de backtesting realizado al enfoque de bloques máximos puede verse que solo la acción de Avianca Preferencial tuvo un exceso o falla, en donde la pérdida real en el valor de la acción, superó a la pérdida extrema no esperada calculada por el TVE VaR.

Figura 6. Gráfico y prueba de Kupiec del Backtesting para Cemex, Método de Picos sobre el Umbral (2019). Elaboración propia

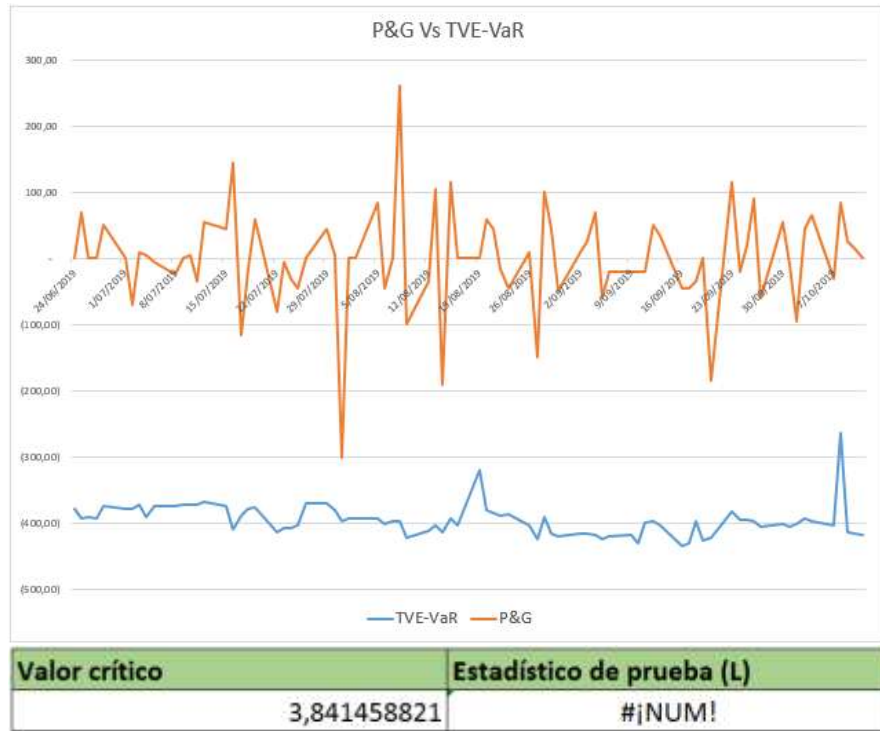


Figura 7. Gráfico y prueba de Kupiec del Backtesting para Corficolombiana, Método de Picos sobre el Umbral (2019). Elaboración propia

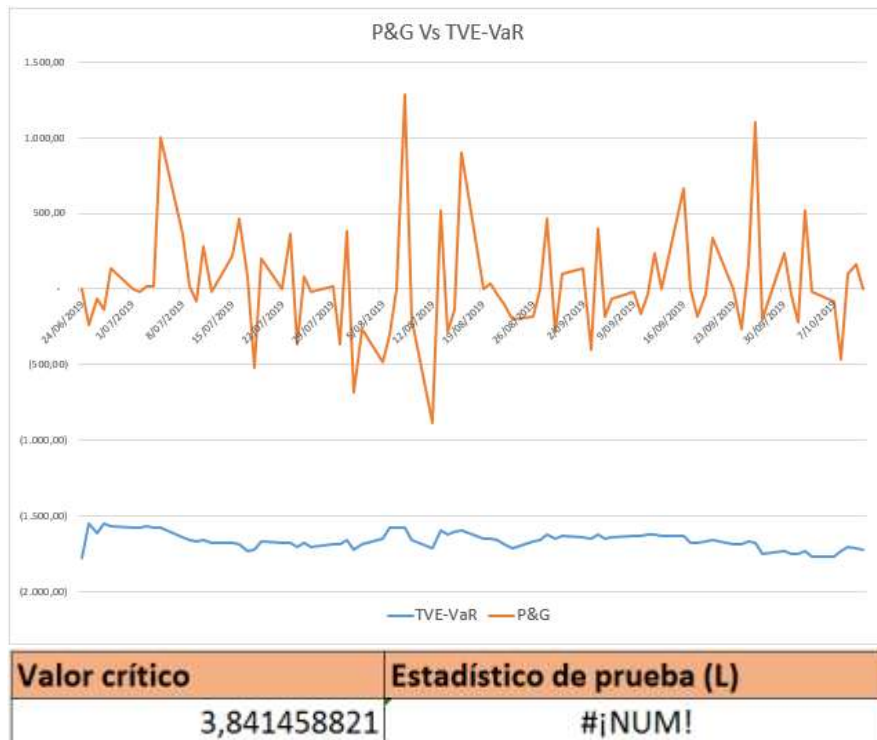
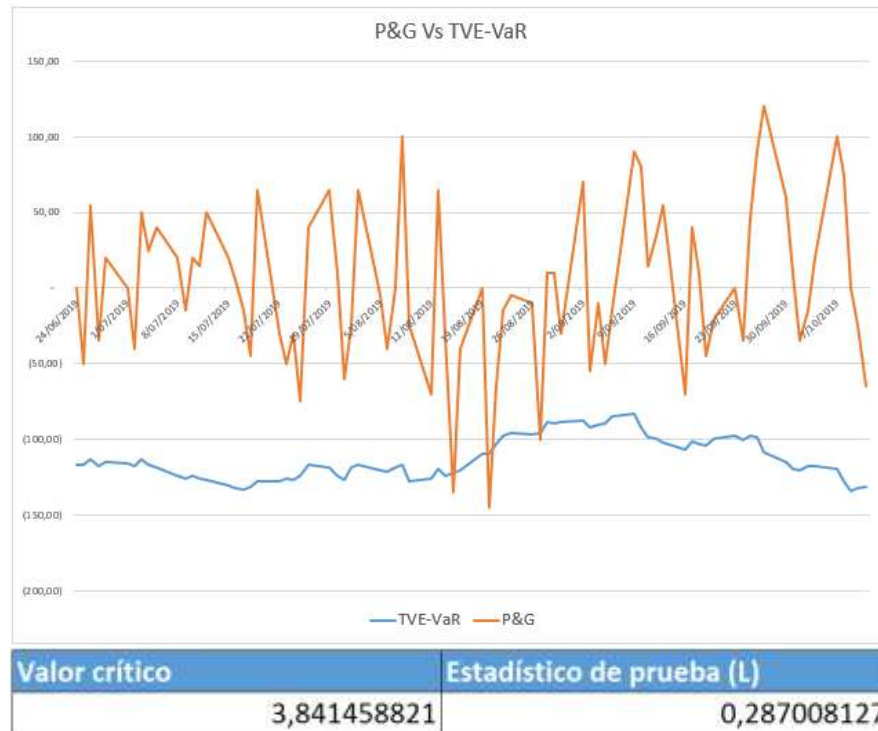




Figura 8. Gráfico y prueba de Kupiec del Backtesting para Avianca Preferencial

Método de Picos sobre el Umbral (2019). Elaboración propia



En el caso del backtesting realizado al enfoque de picos sobre el umbral puede verse que la acción de Avianca Preferencial tuvo tres excesos o fallas, en donde la pérdida real en el valor de la acción, superó a la pérdida extrema no esperada calculada por el TVE VaR.

### Discusión y Conclusión

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.

## Referencias

Albeverio, S., Jentsch, V., & Kantz, H. (2005). Extreme events nature and society. Springer.

Bacca, G., & Marcelino, M. (2016). Ingeniería Financiera. Patria.

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

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

Albeverio, S., Jentsch, V., & Kantz, H. (2005). Extreme events nature and society. Springer.

Bacca, G., & Marcelino, M. (2016). Ingeniería Financiera. Patria.

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

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

García , C., Meza, A., & Ventura, B. (2017). Métodos de cálculo del valor en riesgo. San Cristóbal de La Laguna: Universidad de la Laguna. Obtenido de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/5962/METODOS%20DE%20CALCULO%20DEL%20VALOR%20EN%20RIESGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hernández, A. R. (2016). Una introducción a la teoría de valores extremos. Toluca. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/64258/Una%20Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Teor%C3%ADa%20de%20Valores%20Extremos%20->

%20Visi%C3%B3n%20General%20de%20los%20Concepto\_20160903103815615.pdf?sequence=1&isAllowed=y

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

Jorion, P. (2007). Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial (Tercera ed.). McGraw Hill. Obtenido 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)

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.

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

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

Taleb, 2. c. (2009). Riesgos financieros después de la crisis subprime. Banca y Finanzas, 20.

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

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