

Avances en economía financiera y desarrollo económico

Modelos analíticos y estudios cuantitativos

ANTONIO RUÍZ PORRAS
FRANCISCO VENEGAS MARTÍNEZ
Coordinadores

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Coordinadores

Antonio Ruíz Porras
Universidad de Guadalajara,
Centro Universitario de Ciencias Económico-Administrativas (CUCEA)

Francisco Venegas Martínez
Instituto Politécnico Nacional,
Escuela Superior de Economía (ESE)

Autores

Aceves Dávalos, Jonattan Cristofer (Universidad de Guadalajara)
Armenta Fraire, Leticia (Tecnológico de Monterrey)
Benavides Perales, Guillermo (Tecnológico de Monterrey)
Carvajal Gutiérrez, Lidia Elena (Universidad Autónoma del Estado de México)
Chávez Maza, Luis Augusto (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla)
Cruz Marcelo, José Nabor (Universidad Nacional Autónoma de México)
De Jesús Gutiérrez, Raúl (Universidad Autónoma del Estado de México)
Durán Vázquez, Rocío (Universidad Iberoamericana Puebla)
Espinosa Ramírez, Rafael Salvador (Universidad de Guadalajara)
Fonseca Ramírez, Alejandro (Tecnológico de Monterrey)
Hernández Rodríguez, Clemente (Universidad de Guadalajara)
Hoyos Reyes, Luis Fernando (Universidad Autónoma Metropolitana)
León Cazares, Filadelfo (Universidad de Guadalajara)
López Herrera, Francisco (Universidad Nacional Autónoma de México)
López Sandoval, Ignacio Marcelino (Universidad Autónoma Metropolitana)
Lorenzo Valdés, Arturo (Universidad de las Américas Puebla)
Morales Flores, Eudoxio (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla)
Plata Pérez, Leobardo (Universidad Autónoma de San Luis Potosí)
Puebla Ménez, Alondra Donaji (Universidad Autónoma Metropolitana)
Rivas Aceves, Salvador (Universidad Panamericana)
Rodríguez Benavides, Domingo (Universidad Autónoma Metropolitana)
Rodríguez Nava, Abigail (Universidad Autónoma Metropolitana)
Rodríguez Pichardo, Oscar Manuel (Universidad Autónoma del Estado de México)
Rosas Méndez, Judith (Universidad Autónoma de San Luis Potosí)
Ruíz Porras, Antonio (Universidad de Guadalajara)
Santillán Salgado, Roberto Joaquín (Tecnológico de Monterrey)
Téllez León, Isela Elizabeth (Instituto Politécnico Nacional)
Venegas Martínez, Francisco (Instituto Politécnico Nacional)

D.R. © 2017, Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas
Periférico Norte #799, Villa de los Belenes
45180 Zapopan

ISBN: 978-607-742-760-5

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

CONTENIDO

Introducción	7
<i>Antonio Ruíz Porras</i>	

PRIMERA PARTE ECONOMÍA FINANCIERA

Capítulo 1. Modelado de las colas de la distribución de rendimientos del Petróleo: Un análisis empírico fuera de la muestra	17
<i>Raúl De Jesús Gutiérrez, Oscar Manuel Rodríguez Pichardo y Lidia Elena Carvajal Gutiérrez</i>	

Capítulo 2. Vinculación entre las características operativas de la banca comercial en México y las decisiones de crédito	45
<i>Abigail Rodríguez Nava y Francisco Venegas Martínez</i>	

Capítulo 3. La prima por riesgo inflacionario en México: métodos alternativos	62
<i>Guillermo Benavides Perales e Isela Elizabeth Téllez León</i>	

Capítulo 4. Cointegración fraccionaria entre el tipo de cambio, la bolsa mexicana de valores y la TIEE	87
<i>Roberto Joaquín Santillán-Salgado, Francisco López-Herrera Alejandro Fonseca-Ramírez</i>	

Capítulo 5. El efecto del precio del petróleo en los rendimientos y volatilidad de los mercados accionarios latinoamericanos	115
<i>Arturo Lorenzo Valdés, Rocío Duran Vázquez y Leticia Armenta Fraire</i>	

SEGUNDA PARTE DESARROLLO ECONÓMICO

Capítulo 6. Inversión extranjera directa y crecimiento económico: El caso de México	135
<i>Alondra Donaji Puebla Ménez y Salvador Rivas-Aceves</i>	

Capítulo 7. Análisis de la productividad de las entidades federativas en México	179
<i>Domingo Rodríguez Benavides y Luis Fernando Hoyos Reyes</i>	

Capítulo 8. Globalización y desarrollo económico. Las primeras reformas estructurales en México una visión institucionalista	203
<i>Ignacio Marcelino López Sandoval</i>	

Capítulo 9. Armonización fiscal en mercados segmentados	239
<i>Rafael Salvador Espinosa Ramírez</i>	

TERCERA PARTE
FINANZAS Y DESARROLLO

Capítulo 10. Deuda pública estatal en México: Usos y abusos	281
<i>Eudoxio Morales Flores y Luis Augusto Chávez Maza</i>	

Capítulo 11. ¿Tienen impacto las transferencias del ramo 33 en el desarrollo educativo y la igualdad de Oportunidades?	303
<i>Leobardo Plata Pérez y Judith Rosas Méndez</i>	

Capítulo 12. Los microcréditos y el proceso del crecimiento económico: Lecciones del empoderamiento de las mujeres en el occidente de México	321
<i>Clemente Hernández Rodríguez</i>	

Capítulo 13. Financiamiento de políticas públicas para el crecimiento y reducción de la dispar distribución del ingreso en México	353
<i>José Nabor Cruz Marcelo</i>	

Capítulo 14. Fondos de aportaciones, desarrollo estatal y elasticidades de sustitución en México: Los impactos de financiar la educación, la infraestructura y la salud	381
<i>Antonio Ruíz Porras, Jonattan Cristofer Aceves Dávalos, Filadelfo León Cazares</i>	

CAPÍTULO I

Modelado de las colas de la distribución de rendimientos del Petróleo: Un análisis empírico fuera de la muestra

RAÚL DE JESÚS GUTIÉRREZ
OSCAR MANUEL RODRÍGUEZ PICHARDO
LIDIA ELENA CARVAJAL GUTIÉRREZ
Universidad Autónoma del Estado de México

1.1. Introducción

El petróleo crudo es un recurso natural no renovable esencial para el desarrollo sustentable de cualquier economía y sociedad moderna, su uso como principal fuente de energía contribuye en el impulso de la producción industrial, generación de electricidad y funcionamiento del transporte. No obstante, la inestabilidad en factores económicos-financieros, socio-políticos, geopolíticos, tecnológicos, así como eventos de carácter climático, capacidad de refinería, reservas y acuerdos institucionales internacionales para recortar la producción global, han transformado el mercado global del petróleo en una estructura más compleja, volátil y riesgosa en comparación con otras materias primas, incluso que algunos mercados accionarios y cambiarios.

A partir de la liberalización del sector energético en la segunda mitad de la década de los ochenta, los mercados internacionales de energía fósil han experimentado una creciente incertidumbre y alta volatilidad por la presencia de fuertes choques y movimientos

extremos en los precios del petróleo, como consecuencia de los desequilibrios entre las fuerzas de la oferta y demanda inelásticas del hidrocarburo en el corto plazo. Las fluctuaciones atípicas en los precios del petróleo crudo tienen efectos cuantitativos negativos en la economía global, su impacto repercute directamente en la confianza de los consumidores industriales, productores y gobiernos cuya principal fuente de ingreso provienen del combustible fósil. Así mismo, el comportamiento volátil de los precios del petróleo puede desestabilizar los sistemas financieros porque representa la materia prima más negociada en el mundo a través de transacciones directas en mercados físicos y acuerdos de contratos de futuros.¹

Desde el desarrollo de la teoría de la especulación de Bachelier (1900), el modelo más ampliamente usado en las aplicaciones financieras para describir el comportamiento asintótico de los rendimientos en los mercados accionarios, cambiarios y materias primas, ha sido la distribución normal. El supuesto de normalidad ha sido clave en el desarrollo de diversas teorías económicas-financieras como: el modelo de media-varianza de Markowitz (1959) para la selección de portafolios óptimos de los inversionistas institucionales, el modelo de equilibrio de fijación de precios de activos de capital desarrollado por Sharpe (1964), el modelo de Black-Scholes (1973) para la determinación de los precios de las opciones financieras y las metodologías de valor en riesgo (VaR, por sus siglas en inglés). En contraste, literatura financiera empírica ha demostrado que la forma distribucional de los rendimientos de las series financieras de frecuencia alta suele ser más picuda alrededor de la media, con propiedades de colas anchas y diferentes niveles de asimetría generado por la mayor presencia de choques extremos positivos y negativos, y que generalmente el supuesto de normalidad es insuficiente para predecirlos correctamente en las aplicaciones financieras (Mandelbrot, 1963; Fama, 1965).

¹ La fuerte alza en los precios del petróleo y la correlación negativa entre los mercados de energía y accionarios han impulsado a los inversionistas institucionales, como fondos de pensiones y fondos de inversión de riesgo moderado y alto (*hedge funds*), incluir contratos de futuros sobre petróleo crudo en sus portafolios de inversión como un mecanismo para la diversificación del riesgo (Geman y Kharoubi, 2008).

En la actualidad, diversas alternativas se han propuesto en la literatura para remediar en parte el problema de las colas anchas y asimetría en los rendimientos de las series financieras, entre ellas se incluyen las distribuciones *t*-Student y mixtura de normales (Heikkinen y Kanto 2002; Hull y White, 1998). Para capturar la presencia de efectos asimétricos en las series financieras, Azzalini (1985 y 1986) y Fernandez y Steel (1998) agregan un parámetro de asimetría para obtener la distribución normal sesga y la distribución *t*-Student sesgada, respectivamente. En el sector energético, la distribución de errores generalizada, *t*-Student simétrica y sesgada han sido empleadas para explicar las propiedades no-normales de los rendimientos del petróleo crudo. Aunque la mayoría de las distribuciones mencionadas recogen apropiadamente los efectos de las colas anchas y asimetría observados en los mercados accionarios, cambiarios y energéticos. No obstante, la limitación en el modelado de las características de las colas de las distribuciones empíricas de manera independiente reduce la eficiencia de los modelos previos para predecir la frecuencia y magnitud de los rendimientos extremos que ocurren con probabilidad pequeña, pero que tienen gran impacto en el análisis dinámico de las series financieras, en particular el petróleo crudo.

En consecuencia, el modelado preciso de las características de las colas de la distribución de rendimientos del petróleo crudo requiere de técnicas y modelos más sofisticados para recoger el efecto de los diferentes niveles de asimetría, fenómeno de colas anchas y leptocurtosis bajo condiciones extremas del mercado. De hecho, el supuesto sobre la forma funcional de la distribución empírica de rendimientos es un principio fundamental en el área de investigación de las finanzas cuantitativas, particularmente en los temas relacionados con el diseño de estrategias óptimas que incrementan los beneficios de la diversificación del riesgo, el desarrollo de políticas de regulación energética, la implementación de modelos de valuación de productos derivados energéticos, la planeación financiera gubernamental, en el perfeccionamiento de métodos cuantitativos para la medición del riesgo, así como en la innovación de estrategias de coberturas óptimas para administrar y minimizar los efectos negativos de los choques en los precios del petróleo crudo.

En este sentido, la teoría de valores extremos (TVE) proporciona un conjunto de herramientas estadísticas sólidas para entender y modelar los eventos extremos raros alojados en las regiones de las colas de las distribuciones empíricas de las series del petróleo crudo. Los alcances de la TVE permiten analizar el comportamiento extremo de las colas de la distribución de rendimientos positivos y negativos por separado a través de la estimación del índice de la cola que mide las acumulaciones de probabilidad en los extremos superiores a la distribución normal. Desde que la metodología de la TVE ha sido implementada con éxito sobre una base cuantitativa para la modelación de las colas de la distribución de rendimientos de las series financieras. Una gran cantidad de estudios se han realizado para administrar el riesgo de la cola en mercados accionarios y cambiarios tanto desarrollados como emergentes mediante el ajuste de las distribuciones generalizadas de valores extremos y Pareto (Longin, 2000; McNeil y Frey, 2000; Tolikas y Gettinby, 2009; Aggarwal y Qi, 2009; De Jesús y Ortiz, 2011; Karmakar, 2013; De Jesús et al., 2013; Karmakar y Shukla, 2015).

Sin embargo, la literatura empírica sobre la aplicación de la TVE a los mercados de energía es aún muy limitada, en particular para el petróleo crudo de baja calidad. El trabajo seminal de Krehbiel y Adkins (2005) contribuye a la literatura sobre el modelado de las colas de las materias primas de energía que cotizan en la Bolsa Mercantil de Nueva York. La evidencia señala que la distribución generalizada de Pareto es apropiada para explicar el comportamiento asintótico de los rendimientos extremos y proporciona medidas de riesgo más eficientes en comparación con modelos desarrollados bajo el supuesto de innovaciones normales. De la misma manera, Marimoutou et al. (2009) aplican la metodología de la TVE a los precios de contado de los petróleos de referencia WTI y Brent, y resaltan la importancia del procedimiento de filtrado en la estimación del VaR a través de las medidas de la TVE condicional.

En un trabajo más reciente que ilustra el potencial de la TVE incondicional, Ren y Giles (2010) muestran que la distribución generalizada de Pareto es suficiente para el modelado de las colas de la distribución de rendimientos de los precios físicos del petróleo Canadiense, y mejoran el desempeño de las medidas VaR y expected Shortfall (ES, por sus siglas en inglés) para los cuantiles extremos

debido a la ausencia de heteroscedasticidad en los datos. Posteriormente, el trabajo de Zikovic (2011) acepta la metodología de la TVE para medir el nivel de riesgo en las posiciones corta y larga de los futuros sobre petróleo WTI. En otro estudio más reciente relacionado a los futuros sobre petróleo ligero y productos refinados, Ghorbel y Trabelsi (2014) modelan las colas de la distribución a través de la distribución generalizada de Pareto, y demuestran que los modelos de la TVE condicional proporcionan estimaciones aceptables del riesgo extremo, superando en algunos casos a los modelos de copulas.

En años recientes, la limitada evidencia empírica sólo se ha enfocado en la aplicación de la teoría estadística de valores extremos para la estimación de las pérdidas potenciales relacionadas a las colas de la distribución de rendimientos de los precios del petróleo crudo, y hasta el momento no existe un trabajo que contribuya a la literatura a través de un análisis comparativo del comportamiento asintótico de las colas superior e inferior fuera de la muestra. Es bien sabido que fuertes y frecuentes fluctuaciones al alza y baja han afectado la estructura del mercado de energía fósil y sus productos refinados en las últimas décadas. Sin embargo, la mayoría de la literatura ha documentado que el comportamiento extremo de la cola inferior difiere del observado en la cola superior de la distribución de rendimientos en los análisis dentro de la muestra, lo que confirma que la cola inferior tiende a ser más ancha y larga que la cola superior. Este hallazgo común implica que el papel de la información relacionado a la naturaleza de las colas inferior y superior tiene diferentes consecuencias económicas-financieras para los participantes en los mercados del petróleo crudo en el corto y mediano plazos.

El objetivo de este trabajo es ajustar la distribución generalizada de Pareto (DGP) a los rendimientos del petróleo Maya de exportación durante el periodo del 2 de enero de 1992 al 31 de diciembre de 2010, y analiza el comportamiento asintótico extremo de las colas inferior y superior fuera de la muestra en el periodo del 2 de enero de 2011 al 31 de octubre de 2014 utilizando una ventana móvil. Este procedimiento de estimación consiste en remover la observación más remota y agregar la observación más reciente al periodo muestral para reestimar los parámetros de la DGP. El proceso es repetido 991 veces hasta obtener los parámetros estimados del 31 de octubre

de 2014. De esta manera, el tamaño de la muestra se mantiene fijo durante la reestimación de los parámetros. Otra contribución del trabajo se atribuye a que utiliza la prueba *t*-Student para validar estadísticamente si el comportamiento extremo de las colas inferior y superior se mantiene estable y tienen características similares fuera de la muestra.

1.2. Análisis Preliminar de los Datos

1.2.1. Descripción de los datos y estadísticas básicas

En los últimos años, la producción nacional de petróleo crudo se ha compuesto de una canasta de hidrocarburos con diferentes características físicas-químicas: Maya un crudo ácido-pesado con 3.3% de azufre en peso y densidad API de 21.8 grados, Istmo un crudo ácido-mediano con 1.3% de azufre en peso y densidad API de 33.4 grados e Istmo un crudo ácido-ligero con 0.8% de azufre en peso y densidad API de 39.3 grados.² Pese a que el petróleo Maya es un hidrocarburo de baja densidad API y alto contenido de azufre, su comercialización internacional constituye un factor estratégico clave en las finanzas públicas y crecimiento de la economía mexicana debido a que representa más del 52.36% de la producción total durante 2014. Aunque la producción de crudo Maya ha disminuido notablemente desde 2008, sus ventas en el mercado internacional del petróleo crudo han alcanzado el valor de 22,814 millones de dólares en lo que va del año, y en donde el 74.24% de las exportaciones han tenido como destino los Estados Unidos principal consumidor de energía fósil en el mundo.

Para el análisis del comportamiento extremo de las colas de la distribución fuera de la muestra se utilizan los rendimientos diarios del petróleo Maya de Exportación. Los rendimientos del petróleo se expresan en porcentajes y cubren el periodo del 3 de enero de 1992 al 31 de octubre de 2014, para una muestra total de 4931 observacio-

² La fijación del precio del petróleo mexicano en el mercado internacional se determina en función del rendimiento de productos refinados, es decir, sus características físicas-químicas como densidad API y contenido de azufre establecidas por el Instituto Americano del Petróleo (API, por sus siglas en inglés).

nes. La serie de los datos es dividida en dos submuestras: el periodo 1992-2010 se usa para la estimación de los parámetros dentro de la muestra, en tanto que el periodo 2011-2014 se reserva para el análisis de las características de las colas superior e inferior fuera de la muestra. La serie de los rendimientos se construye con los precios de la base de datos de Datastream utilizando la diferencia de los logaritmos de los precios multiplicados por cien: $R_t = 100 \times (\ln P_t - \ln P_{t-1})$, donde P_t y P_{t-1} se definen como los precios de cierre diario del petróleo Maya en los días t y $t-1$, respectivamente.

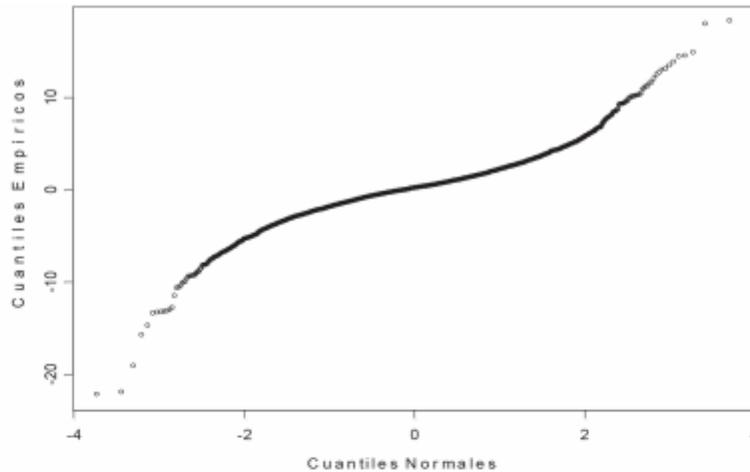
Las estadísticas básicas de los rendimientos del petróleo Maya se reportan en la Tabla 1.1. El rendimiento promedio y desviación estándar para los rendimientos diarios equivalen a 0.0425% y 2.6760%, lo que indica que los precios y la volatilidad futura tienden a incrementarse a través del tiempo. Además, la serie de los rendimientos presentan diferentes niveles de asimetría y exceso de curtosis para el periodo de estimación, esto es, colas más anchas y largas que la distribución normal, particularmente la cola izquierda. Las características comunes de sesgo negativo y curtosis alta revelan la posibilidad de la presencia más frecuente de rendimientos extremos negativos que de rendimientos extremos positivos en el mercado del petróleo Maya. La característica de no normalidad de la distribución incondicional de rendimientos también es sustentada por el pequeño valor- p del estadístico Jarque-Bera. Otra importante herramienta para el análisis de las colas anchas en los rendimientos del petróleo Maya se refiere al gráfico Q-Q, que consiste en graficar los cuantiles empíricos estandarizados contra los cuantiles de la variable aleatoria normal estándar. De esta manera, el patrón en forma de "S" de la Gráfica 1.1 o la presencia de concavidad indica la existencia de la propiedad de colas anchas en la distribución de rendimientos, debido al hecho de que algunos cuantiles se encuentran fuera de la línea recta de 45 grados con pendiente positiva.

TABLA 1.1
Estadísticas básicas de los rendimientos del petróleo Maya

Petróleo	Media	Máximo	Mínimo	Desv.Est	Sesgo	Curtosis	JB	LM	Q(12)	Q ² (12)
Maya	0.043	18.22	-22.259	2.6760	-0.1311	9.9550	342904(0)	572.60'	41.82'	723.73'

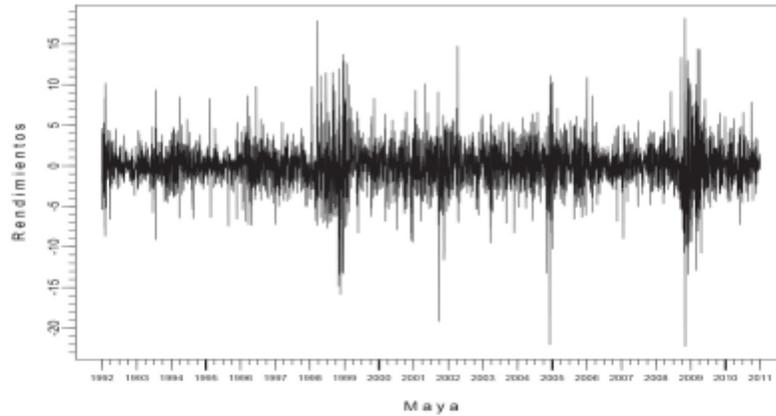
Fuente: Elaboración propia con datos de la Agencia Datastream.

GRÁFICA 1.1
Cuantiles empíricos contra los cuantiles normales estandarizados



En este análisis también se estudia la manifestación de correlación serial y heteroscedasticidad en la serie de los rendimientos del petróleo Maya a través de los estadísticos de Ljung-Box para los rendimientos simples y cuadrados, respectivamente. El valor significativo de la prueba de Ljung-Box $Q(12)$ confirma la existencia de fuerte correlación serial de orden 12 en los rendimientos simples a un nivel de 1%, lo que indica la importancia del patrón histórico del mercado para explicar su comportamiento futuro. Para los rendimientos cuadrados, la significancia del estadístico $Q^2(12)$ muestra que la serie de los rendimientos presenta las propiedades complejas de no linealidad o efectos de heteroscedasticidad condicional autorregresiva a través del tiempo. Este resultado juega un papel importante en la generación de información relacionada con la aparición de valores extremos en aglomeraciones.

GRÁFICA 1.2
Comportamiento dinámico de los rendimientos del petróleo Maya



De hecho, la presencia fuerte heteroscedasticidad o efectos ARCH en los rendimientos del petróleo es sustentada por la significancia del estadístico de la prueba del Multiplicador de Lagrange a un nivel de 1%. Así mismo, la característica común de aglomeraciones de movimientos pequeños y grandes se puede apreciar mejor en la Gráfica 1.2 que muestra la dinámica de los rendimientos del petróleo Maya durante el periodo 1992-2010. Es importante resaltar que la intensidad del fenómeno de la heteroscedasticidad condicional es más pronunciada en los periodos de la crisis asiática de 1997-1998 y la recesión económica de los Estados Unidos generada por la crisis hipotecaria en 2008-2009, en donde el petróleo Maya experimento una sucesión de movimientos atípicos positivos y negativos en cortos intervalos de tiempo.

1.2.2. Análisis de la frecuencia de los rendimientos extremos

En esta sección se estudia la frecuencia de los rendimientos cuando exceden el valor de un determinado umbral, con el fin de profundizar en el análisis del comportamiento extremo de colas empíricas de la distribución de rendimientos. En el contexto de la administración de riesgos, los productores y consumidores de petróleo están

expuestos a un mayor riesgo cuando los movimientos de mercado exceden el valor de un umbral extremo. Estos indicadores relevantes se construyen a partir del rendimiento promedio μ , más o menos 1, hasta 7 desviaciones estándar σ , utilizando los resultados reportados en la Tabla 1.1 de las estadísticas básicas.

En la Tabla 1.2 se resumen los resultados de la frecuencia de los rendimientos extremos empíricos y los estimados por la distribución normal. Bajo el supuesto de normalidad, la frecuencia de rendimientos extremos esperada es relativamente mayor a la observada o empírica en ambas colas de la distribución empírica cuando se consideran los umbrales extremos $\mu \pm \sigma$, particularmente para la cola superior que reporta 595 contra 782 de la distribución normal. En gran parte, este hecho se atribuye a las características de volatilidad alta y persistencia observadas en los rendimientos del petróleo Maya durante el periodo de estudio. Sin embargo, en la medida que los umbrales se van incrementando el supuesto de normalidad pierde eficiencia para predecir la frecuencia de los rendimientos extremos. Por ejemplo en el caso de $\mu - 5\sigma$, 12 rendimientos extremos negativos empíricos contra cero de la distribución normal se encuentran por debajo del umbral extremo y 11 contra cero se encuentran por encima del umbral extremo $\mu + 5\sigma$.

Otro hallazgo importante de los resultados es que los rendimientos extremos negativos empíricos exceden a los rendimientos extremos positivos empíricos en cualquiera de los umbrales extremos, con la excepción de los umbrales $\mu + 3\sigma$ y $\mu + 4\sigma$. De esta manera, los participantes en el mercado del petróleo Maya no sólo están propensos a experimentar caídas extremas en los precios originados por las crisis financieras, los crecientes suministros mundiales, la desaceleración en la producción global, el exceso en la oferta del hidrocarburo por decisiones institucionales de la OPEC que se niega a recortar la producción, sino también por la escalada de precios extremos que desequilibran la demanda del petróleo, y que generalmente se derivan de eventos de carácter climatológico, geopolíticos, conflictos bélicos, incluso más recientemente por la especulación irracional generada por inversionistas internacionales que cambian continuamente sus posiciones cortas por largas en los mercados de futuros y opciones sobre energía.

TABLA 1.2
Frecuencia de los rendimientos extremos negativos y positivos

Umbral	$\mu-\sigma$	$\mu-2\sigma$	$\mu-3\sigma$	$\mu-4\sigma$	$\mu-5\sigma$	$\mu-6\sigma$	$\mu-7\sigma$
Extremos cola inferior	620	169	52	20	12	5	3
En aglomeración (clustering)	176	40	14	6	3	0	0
Umbral	$\mu+\sigma$	$\mu+2\sigma$	$\mu+3\sigma$	$\mu+4\sigma$	$\mu+5\sigma$	$\mu+6\sigma$	$\mu+7\sigma$
Extremos cola superior	595	148	60	27	11	3	2
En aglomeración (clustering)	178	30	12	2	1	0	0
Normalidad	782	112	7	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia con datos de la Agencia Datastream.

Otra característica importante para los participantes en los mercados de petróleo crudo se refiere al grado de aglomeración de movimientos pequeños y grandes o identificación de rendimientos extremos que fueron seguidos o precedidos por otros rendimientos extremos de igual o mayor magnitud en un periodo de tiempo determinado.

Las características de incertidumbre e inestables de los mercados internacionales de energía sugieren que el análisis se lleve a cabo en un espacio de tiempo de dos semanas de operación. Al analizar los resultados de la Tabla 1.2. se puede apreciar que el grado de aglomeración de rendimientos extremos es más persistente y similar para los umbrales extremos $\mu \pm \sigma$ (178 contra 176) en ambas colas. Dividiendo la muestra en tres periodos se puede observar que la persistencia de aglomeraciones extremas negativas fue más notable en 1997-2003 con 81 que en 1992-1996 y 2004-2010, en donde se presentaron 25 y 70 rendimientos extremos en clusters en el mismo orden. De hecho, la crisis asiática de 1997-1998 seguido por el estrépito de la burbuja financiera del Índice NASDAQ en 2000 y el atentado del 11 de septiembre de 2001 contra las Torres Gemelas del World Trade Center son considerados los principales eventos económicos, financieros y extremistas de carácter internacional que justifican este importante hallazgo.

En el caso de la cola superior, el grado de aglomeración en el periodo 1992-1996 fue muy parecido con el de la cola inferior que registra 24 valores extremos concentrados. En los periodos 1997-2003 y 2004-2010, el grado de concentración se mantuvo muy similar al

registrar 78 y 76 aglomeraciones extremas positivas, respectivamente. Existen varios eventos que pueden explicar este comportamiento, y que se resumen en la reducción de 4.2 millones de barriles diarios entre 2000-2001 por parte de los principales productores de petróleo miembros de la OPEP, el conflicto entre Estados Unidos e Irak en el 2003, el crecimiento de la economía global y el cambio en la estructura de consumo de petróleo por parte de las economías emergentes de China y la India, que en combinación con la ininterrumpida depreciación del dólar estadounidense en relación con el euro durante el periodo 2003-2008 fueron factores fundamentales que modificaron la dinámica del mercado del petróleo en el contexto internacional y nacional.

Por otra parte, la frecuencia de rendimientos extremos en clusters tiende a disminuir en la medida que los umbrales se incrementan, en particular en la cola superior. En todo el periodo de análisis, sólo 2 de 27 rendimientos extremos que excedieron el umbral $\mu+4\sigma$ ocurrieron en clusters, los cuales se identificaron a fines de 2008 y principios de 2009 cuando los precios internacionales del petróleo entraron en una fase de fuerte fluctuación por la agravación de la crisis financiera global y depreciación del dólar estadounidense contra las principales monedas duras. En la cola inferior sólo 6 de 20 rendimientos extremos que se encontraron por debajo del umbral $\mu-4\sigma$ ocurrieron en clusters; los primeros 3 ocurrieron en 1998 durante el desarrollo de la crisis asiática y el cuarto en la semana del ataque terrorista del 11 de septiembre de 2001, mientras que los últimos 2 se concentraron a fines de 2008 cuando los precios del petróleo crudo sufrieron su peor desplome por la restricción del crédito que obligo a la economía global a entrar en una profunda recesión. Para los umbrales extremos $\mu\pm 6\sigma$ y $\mu\pm 7\sigma$, la presencia de rendimientos extremos en clusters es nula como se puede apreciar en la Tabla 1.2.

En consecuencia, las características de volatilidad alta y persistente, heteroscedasticidad condicional y presencia de rendimientos extremos temporales originados por los diferentes niveles de asimetría y efectos de colas anchas detectadas en la serie de los rendimientos del petróleo Maya, proporcionan evidencia empírica en favor de la aplicación de la TVE para evitar estimaciones sesgadas en el modelado del comportamiento asintótico de las colas superior e inferior de la distribución empírica de rendimientos.

1.3 Metodología

1.3.1 Distribuciones de valores extremos

Existen dos aproximaciones alternativas para el modelado del comportamiento asintótico de los valores extremos o raros: el procedimiento estadístico de los bloques máximos y la técnica de picos sobre umbrales. La primera se centra en la colección de observaciones máximas y mínimas extraídas de cada uno de los bloques o submuestras durante un periodo de tiempo fijo, la cual representa la piedra angular de la TVE clásica a través el teorema de Fisher-Tippett-Gnedenko.

Suponiendo que R_1, R_2, \dots, R_n son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas con función de distribución $F_R(r)$ y M_n representa el rendimiento máximo observado sobre un horizonte de n días de operación, es decir, $M_n = \text{Máx}\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$.³ Para definir la distribución asintótica, M_n es estandarizada a través de β_n y $\alpha_n > 0$ tal que

$$P\left\{\frac{(M_n - \beta_n)}{\alpha_n} \leq r\right\} = \lim_{n \rightarrow \infty} F^n(\alpha_n r + \beta_n) \rightarrow H(r), \quad (1.1)$$

donde H es una función de distribución no degenerada.

Para n grande, $H(r)$ converge a la distribución de valores extremos generalizada (DVEG), es decir,

$$H_{\xi_n}(r) = \begin{cases} \exp\left[-\left(1 - \xi_n r\right)^{1/\xi_n}\right] & \text{si } \xi_n \neq 0 \\ \exp[-\exp(-r)] & \text{si } \xi_n = 0 \end{cases} \quad (1.2)$$

donde $r < 1/\xi_n$ para $\xi_n < 0$ y $r > 1/\xi_n$ para $\xi_n > 0$.

³ De manera similar, el mínimo de los rendimientos extremos negativos observados en un periodo de n días de operación se define como $M_n = \text{Mín}\{R_1, R_2, \dots, R_n\} = -\text{Máx}\{-R_1, -R_2, \dots, -R_n\}$.

La DVEG está compuesta por los parámetros de localización β_n , escala α_n e índice de la cola ξ_n que mide la forma de la cola e identifica el tipo de distribución usada para describir el comportamiento asintótico de los valores máximos estandarizados. Si $\xi_n < 0$, $F_R(r)$ se encuentra en el máximo dominio de atracción (MDA) de la distribución de Fréchet. Si $\xi_n > 0$, $F_R(r)$ pertenece al MDA de la distribución de Weibull, la cual no es consistente para la modelación de los rendimientos de los precios del petróleo. Finalmente, si $\xi_n = 0$, $F_R(r)$ se encuentra en el MDA de la distribución de Gumbel.

La eficiencia del procedimiento de bloques máximos es notable cuando existen suficientes valores extremos. La limitación del procedimiento se refiere a la forma como se seleccionan los valores máximos en cada bloque, lo que genera pérdida de información importante. Sin embargo, la naturaleza de los eventos extremos es rara por definición y generalmente aparecen en clusters, por ello su estudio requiere de muestras grandes de datos y la implementación de técnicas estadísticas sofisticadas. En este sentido, la aproximación de picos sobre umbrales aprovecha eficientemente los datos en la medida que los valores extremos aparecen en racimos en el tiempo.

Esta aproximación construye la muestra de valores extremos a partir de observaciones que exceden a un umbral. Considerando una secuencia de variables aleatorias R_1, R_2, \dots, R_n independientes e idénticamente distribuidas, que representan pérdidas con función de distribución desconocida, $F(r) = \Pr(R_i \leq r)$. Dado que el análisis se interesa en las pérdidas extremas que exceden a un umbral grande u , la función de distribución de excesos sobre un umbral (DE) para $y_i = r_i - u$ dado que r_i excede a u se define como

$$F_u(y) = \Pr(r_i - u \leq y | r_i > u) = \frac{\Pr(u < r_i \leq u + y)}{\Pr(r_i > u)} = \frac{F(y + u) - F(u)}{1 - F(u)} \quad (1.3)$$

Para u suficientemente grande, los resultados de los teoremas de Balkema y De Haan y Pickands mostraron que la DE converge a la DPG de la siguiente manera:

$$G_{\xi}(y) = \begin{cases} 1 - \left(1 + \frac{\xi}{\sigma} y\right)^{-\frac{1}{\xi}} & \text{si } \xi \neq 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{y}{\sigma}\right) & \text{si } \xi = 0 \end{cases} \quad (1.4)$$

donde ξ es el índice de la cola y $\sigma > 0$ es el parámetro de escala.

Asimismo, F se puede definir como la DE condicional sobre el umbral u , es decir, $F(r) = (1 - F(u))G_{\xi}(y) + F(u)$. La estimación no paramétrica de $F(u)$ está determinada por el valor de $(n-k)/n$, en donde n indica el número total de observaciones y k representa el número de observaciones que exceden a u . Sustituyendo el valor estimado de $F(u)$ y la ecuación (1.4) en $F(r)$ se obtiene la siguiente expresión del estimador de la cola:

$$F(r) = 1 - \frac{k}{n} \left(1 + \xi \frac{(r-u)}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{\xi}} \quad (1.5)$$

donde ξ y σ pueden ser estimados a través de diferentes técnicas de estimación paramétricas y no paramétricas siempre y cuando el estimador de la ecuación (1.5) sea válido para $R > u$.

1.3.2. Selección óptima del umbral

En la práctica, la selección del umbral es necesaria para determinar apropiadamente la región de la cola antes de ajustar la DPG a los datos. Asimismo, la selección óptima del umbral es fundamental en el análisis del comportamiento asintótico de los valores extremos debido a que permite reducir el sesgo y varianza en el modelo estimado. De acuerdo con Coles (2001), la selección de umbrales demasiado pequeños contribuye a la violación de las propiedades asintóticas del modelo, generando estimaciones sesgadas. Por el contrario, umbrales demasiado grandes producen estimaciones con errores estándar altos como resultado del limitado número de observaciones en la muestra.

En la selección óptima del umbral existen varias herramientas de análisis previas al ajuste de la DE. Para fines de este análisis, utilizamos la función de exceso medio empírica para la selección óptima del umbral, la cual es definida como

$$e_n(u) = \frac{1}{n_u} \sum_{i=1}^{n_u} (R_i - u) \quad (1.6)$$

donde n_u indica el número de observaciones que exceden a u . La función de exceso medio es lineal si y sólo si la distribución de excesos $R > u$ se encuentra en el máximo dominio de atracción de la DPG.

1.3.3. Estimación de los parámetros de escala e índice de la cola

Existen varios métodos para la estimación de los parámetros de la DPG, entre los más importantes se encuentran el método de máxima verosimilitud, el método de momentos, el método de momentos ponderados por probabilidad y aproximaciones no paramétricas de Hill. Todos estos métodos son muy complejos, ya que requieren de supuestos arbitrarios para su aplicación, por lo que existe poca comparación sistemática entre ellos. En este trabajo utilizamos el método de máxima verosimilitud, puesto que los estimadores de máxima verosimilitud son consistentes, asintóticamente eficientes y normales. Además, los errores estándar de los estimadores pueden ser aproximados sin problema alguno para la construcción estadística de intervalos de confianza.

Suponiendo que la distribución de excesos se encuentra en el máximo dominio de atracción de la DPG y para un umbral u suficientemente grande. La función de verosimilitud logarítmica está definida por

$$l(\xi, \sigma | r_i - u) = -n \ln(\sigma) - \left(\frac{1}{\xi} + 1 \right) \sum_{i=1}^n \ln \left(1 + \xi \left(\frac{r_i - u}{\sigma} \right) \right) \quad (1.7)$$

Para el caso de $\xi = 0$, la función de verosimilitud logarítmica está definida por

$$l(\xi, \sigma | r_i - u) = -n \ln(\sigma) - \left(\frac{1}{\sigma}\right) \sum_{i=1}^n \ln(r_i - u) \quad (1.8)$$

En este caso, el valor del parámetro σ es positivo en ambas colas. Sin embargo, el valor del parámetro ξ puede ser positivo, negativo, incluso cero, y sirve para determinar las propiedades de las colas de la DPG. De acuerdo con el signo del índice de la cola, la DPG puede adoptar la forma de diferentes distribuciones. Cuando $\xi > 0$, la DPG toma la forma de distribución de Pareto ordinaria, la cual es más apropiada para el modelado de las distribuciones de colas anchas como los rendimientos del petróleo. Cuando $\xi = 0$ y $\xi < 0$, la DPG tiene la forma de las distribuciones exponencial y Pareto de tipo II, respectivamente.

1.3.4. Prueba estadística basada en el índice de la cola

Para el análisis estadístico fuera de la muestra de las características de las colas inferior y superior de la distribución de rendimientos de los precios del petróleo Maya. En este trabajo se adopta la prueba estadística t para contrastar las diferencias estadísticas entre las colas inferior y superior a fin de proporcionar información más robusta del comportamiento extremo de las colas de la distribución empírica de rendimientos.

Para ello se plantean las siguientes hipótesis nula y alternativa:

$$H_0 : \xi_{\text{inferior}} = \xi_{\text{superior}}, \quad H_a : \xi_{\text{inferior}} \neq \xi_{\text{superior}} \quad (1.9)$$

donde ξ_{inferior} y ξ_{superior} denotan las medias poblacionales de los índices de la cola inferior y superior estimados fuera de la muestra durante el periodo 2010-2014. Asumiendo que el tamaño de la muestra para ambos índices de la cola está definido por n^{inferior} y n^{superior} , entonces las varianzas poblacionales de los índices de las colas inferior y superior $\sigma_{\text{inferior}}^2$ y $\sigma_{\text{superior}}^2$ son diferentes y desconocidas.

Al definir las medias de las estimaciones de los índices de la cola por $\hat{\xi}_{\text{inferior}}$ y $\hat{\xi}_{\text{superior}}$ con varianzas s_{inferior}^2 y s_{superior}^2 , y bajo la hipótesis nula de medias idénticas o colas con características similares durante el periodo fuera de la muestra.

El estadístico- t se puede expresar de la siguiente manera:

$$t = \frac{(\bar{\xi}_{superior} - \bar{\xi}_{inferior}) - (\xi_{superior} - \xi_{inferior})}{\sqrt{\frac{S_{superior}^2}{n_{superior}} + \frac{S_{inferior}^2}{n_{inferior}}}} \quad (1.10)$$

donde las varianzas se pueden expresar a través de las siguientes ecuaciones:

$$s_{inferior}^2 = \frac{1}{n_{inferior}} \sum_{i=1}^{n_{inferior}} (\xi_{i,inferior} - \bar{\xi}_{inferior})^2 \quad \text{y} \quad s_{superior}^2 = \frac{1}{n_{superior}} \sum_{i=1}^{n_{superior}} (\xi_{i,superior} - \bar{\xi}_{superior})^2 \quad (1.11)$$

El estadístico sigue una distribución t -student bajo la hipótesis nula con ν grados de libertad, los cuales se pueden determinar de la siguiente manera:

$$\nu = \frac{\left(\frac{S_{inferior}^2}{n_{inferior}} + \frac{S_{superior}^2}{n_{superior}} \right)^2}{\frac{\left(\frac{S_{inferior}^2}{n_{inferior}} \right)^2}{n_{inferior} - 1} + \frac{\left(\frac{S_{superior}^2}{n_{superior}} \right)^2}{n_{superior} - 1}} \quad (1.12)$$

La hipótesis nula de que las medias de las colas inferior y superior son similares se rechaza cuando el valor del estadístico- t es significativamente más grande o pequeño que el valor crítico. De esta manera, aceptamos la hipótesis alternativa que implica que las colas inferior y superior tienen diferentes características.

1.4 Análisis Empírico del Comportamiento Extremo de las Colas

1.4.1 Selección de los umbrales

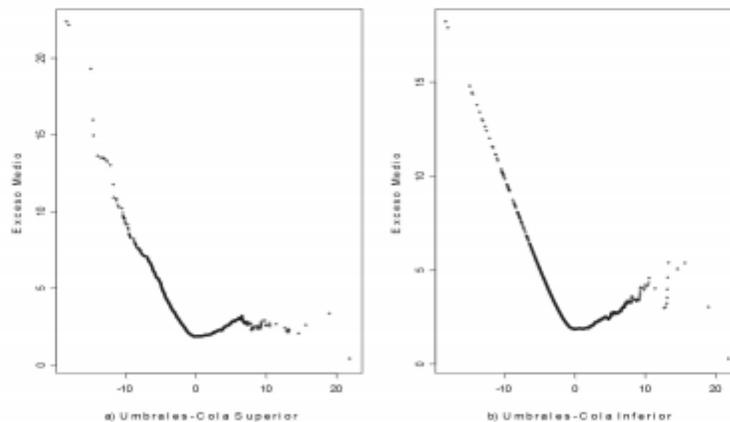
En esta sección se determinan los umbrales para cada una de las series de los rendimientos extremos positivos y negativos del petró-

leo Maya. La selección del umbral apropiado se lleva a cabo a través de la función de exceso medio, la cual es una herramienta estándar de la TVE que permite identificar los valores extremos a partir de las observaciones que han excedido el valor de un umbral dado.

La Gráfica 1.3 muestra la estimación de la función de exceso medio empírica. En la estimación de la función de exceso medio de la cola superior de la distribución de excesos, aplicamos directamente la serie de los rendimientos positivos. En tanto que para la cola inferior se transforma la serie de los rendimientos negativos a positivos, multiplicando por -1 para estimar la función de exceso medio a partir de los excesos extremos máximos. El gráfico del panel a) corresponde a la función de exceso medio de los extremos positivos, mientras que el gráfico del panel b) representa la función de exceso medio para los extremos negativos del petróleo Maya.

GRÁFICA 1.3

Función de exceso medio para los excesos



Analizando las funciones de exceso medio para los extremos positivos y negativos se puede observar que son muy parecidos hasta el valor del umbral igual a cero, porque ambos gráficos mantienen una tendencia descendente, aunque con un descenso más rápido para los extremos positivos. El comportamiento de las funciones de exceso

medio se mantiene estable en el rango de 0.15 hasta 2.11, mientras que la tendencia se vuelve ascendente e irregular a partir del valor de 2.65 y tiende a descender en forma exponencial a partir del valor 5.82 para los extremos positivos y 10.03 para los extremos negativos. Este hecho indica que el comportamiento asintótico de los excesos extremos es ampliamente explicado por la DPG con parámetro de forma positivo y estable. Por otra parte, una función de exceso medio horizontal señala que el comportamiento asintótico de los residuales son mejor explicados por una distribución exponencial, mientras que la función de exceso medio con pendiente negativa corresponde a datos con propiedades de colas cortas o ligeras.

De acuerdo con el criterio de linealidad en los gráficos de la función de exceso medio, los umbrales seleccionados equivalen a 4.0427, 4.0510, 4.0610 y 4.0711. En el mismo orden, los resultados previos consideran como valores extremos el 5.31, 5.29, 5.27 y 5.23% de la muestra total de los rendimientos de la cola superior. De manera similar, los valores de los umbrales seleccionados por la función de exceso medio, en término absolutos, equivalen a 4.9228, 4.9402, 4.9525 y 4.9628, considerando como valores extremos el 3.36, 3.32, 3.30 y 3.28% de la muestra total de los rendimientos de la cola inferior. Un hallazgo importante que se debe resaltar es que la mayoría de los umbrales seleccionados para la cola inferior son ligeramente mayores a los umbrales de la cola superior. Este hecho confirma que las colas de la distribución de excesos presentan diferentes características debido a la existencia de asimetría en las series de los rendimientos.

1.4.2. Estimaciones de los índices de la cola

Las características comunes de exceso de curtosis y diferentes niveles de asimetría aunados a la alta volatilidad que presentan los rendimientos del petróleo Maya requieren la aplicación de la TVE para analizar, de manera independiente, el comportamiento asintótico de las colas de la distribución empírica. La importancia del análisis de las colas inferior y superior por separado está relacionada con las severas pérdidas que enfrentan el gobierno y los consumidores cuando mantienen posiciones abiertas en el mercado del petróleo crudo. Para la estimación de los parámetros de la DPG se emplea el

procedimiento de picos sobre umbrales a la serie de los rendimientos positivos y negativos.

Las estimaciones de los parámetros de escala e índice de la cola bajo diferentes umbrales, así como el número de excesos que supera a los umbrales correspondientes se reportan en la Tabla 1.3 De acuerdo con los resultados, el parámetro de escala se mantiene estable en un rango de 1.7411-1.7602 para cada uno de los umbrales óptimos de la cola inferior, mientras que para la cola superior el parámetro de escala es menor y su oscilación se encuentra en el rango de 1.5899 a 1.5950. Una posible explicación de este hecho se puede atribuir a la mayor presencia de excesos extremos negativos en la serie de los rendimientos del petróleo Maya aunado al tamaño de la muestra de los excesos, esto es, 163 contra 259 en promedio. Por su parte, el valor positivo del índice de la cola estimado revela evidencia suficiente de que la DPG explica apropiadamente el comportamiento asintótico de los excesos localizados en las colas inferior y superior de la distribución empírica de rendimientos del petróleo Maya.

TABLA 1.3
Estimadores de máxima verosimilitud de la DPG

	Cola Inferior					Cola Superior			
u	4.9228	4.9402	4.9525	4.9625	4.0427	4.0510	4.0640	4.0711	
k	165	163	162	160	261	260	258	256	
σ	1.7411	1.7503	1.7554	1.7602	1.5950	1.5899	1.5910	1.5929	
	(0.2240)	(0.2267)	(0.2277)	(0.2289)	(0.1811)	(0.1815)	(0.1829)	(0.1832)	
ξ	0.2531	0.2498	0.2510	0.2502	0.2798	0.2807	0.2817	0.2845	
	(0.1045)	(0.1046)	(0.1052)	(0.1055)	(0.0968)	(0.0975)	(0.0983)	(0.0986)	

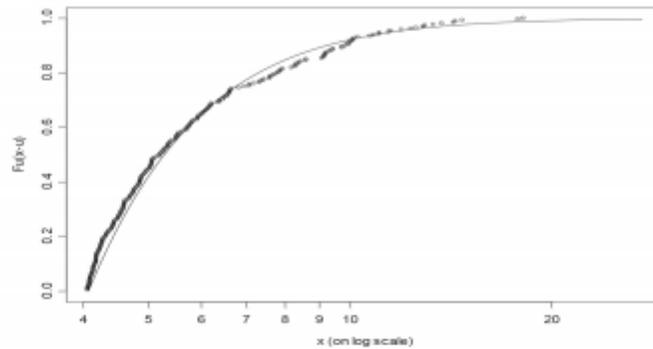
Nota: Los parámetros desconocidos de la DPG son estimados por el método de máxima verosimilitud. Los valores en paréntesis representan los errores estándar de los estimadores de máxima verosimilitud. El valor de k indica el número de excesos que han excedido al umbral u .

Profundizando más en el comportamiento extremo de las colas de la distribución. Los valores del índice de la cola para los excesos negativos se mantienen estables y oscilando ligeramente en un rango de 0.2498 a 0.2531. Este hallazgo es sustentado por el valor de los

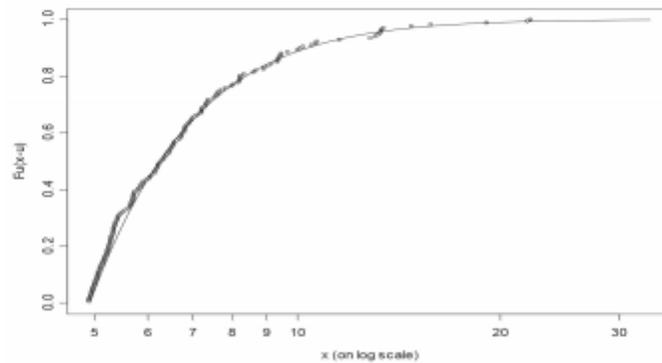
umbrales seleccionados a través de la función de exceso medio y el tamaño de la muestra de los excesos que exceden a los umbrales óptimos. Considerando los excesos positivos, los valores estimados del índice de la cola son ligeramente más grandes al oscilar entre 0.2798 y 0.2845, evidenciando que la cola superior suele ser relativamente más estable y ancha que la cola inferior a pesar de que los excesos negativos son más grandes y frecuentes. La principal justificación de este importante hallazgo se atribuye a que el grado de concentración de excesos extremos tiende a ser menos persistente y cada vez más dispersos en la cola superior en la medida que se incrementan los umbrales extremos que en la cola superior, particularmente para los umbrales con 3, 4 y 5 desviaciones estándar.

De esta manera, la TVE revela que la distribución de excesos sobre los umbrales apropiados de los rendimientos del petróleo Maya presenta propiedades de colas más anchas y el comportamiento de la asimetría no es sorprendente durante el análisis dentro de la muestra. En este tenor, el poder de ajuste de la DPG en el modelado del comportamiento extremo de las colas de la distribución de rendimientos, se puede apreciar mejor a través de la comparación visual entre la distribución empírica de excesos y la distribución estimada representada por la DPG. De esta manera, analizando las Gráficas 1.4 y 1.5 se puede percibir claramente que la evolución de las distribuciones empíricas de excesos positivos y negativos se mantiene muy cerca a la de la DPG, particularmente para los excesos negativos que exceden al umbral óptimo. Aunque existe una ligera desviación entre las distribuciones empírica y estimada en la parte convexa de la Gráfica 1.4, no es suficiente evidencia para menospreciar el alcance de la DPG para explicar el comportamiento asintótico de los excesos positivos en los rendimientos del petróleo Maya.

GRÁFICA 1.4
Ajuste de la DPG para los excesos positivos sobre los umbrales



GRÁFICA 1.5
Ajuste de la DPG para los excesos negativos sobre los umbrales



1.4.3. Análisis de las colas inferior y superior fuera de la muestra

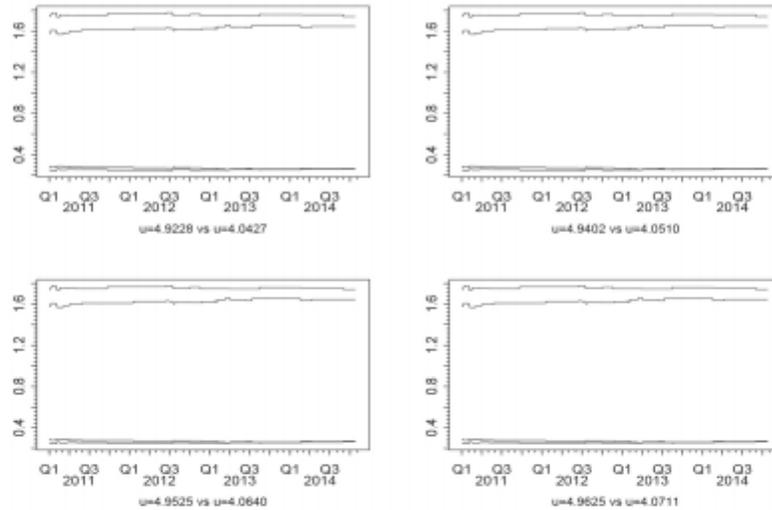
En esta sección se presenta el análisis fuera de la muestra del comportamiento extremo de las colas inferior y superior de los rendimientos del petróleo Maya. El análisis se realiza durante el periodo del 3 de enero de 2011 al 31 de octubre de 2014 a través de una venta

móvil 4931 observaciones. El procedimiento consiste en agregar la observación más reciente y eliminar la observación más distante para reestimar los parámetros de escala e índice de la cola. Este procedimiento se repite 991 veces aproximadamente hasta obtener las estimaciones de los parámetros desconocidos de la DPG del 31 de octubre de 2014 en ambas muestras de excesos. De esta manera, el tamaño de la muestra se mantiene fijo durante la reestimación de los parámetros correspondientes fuera de la muestra y no se traslapan.

La Gráfica 1.5 muestra la evolución del comportamiento extremo de las colas inferior y superior a través del patrón dinámico de los valores estimados de los parámetros del índice de la cola y escala para los diferentes umbrales óptimos. Las curvas que se encuentran por encima corresponden a los valores de los parámetros de los excesos positivos. El parámetro de escala mantiene un patrón dinámico muy estable durante el análisis fuera de la muestra en un rango promedio de 1.7415 a 1.7408 para los excesos negativos y diferentes umbrales óptimos, mientras que para los excesos positivos se encuentran en el rango 1.5754-1.6446. Aunque la diferencia entre los valores del índice de la cola es muy pequeña. El análisis fuera de la muestra revela que la tendencia dinámica del índice de la cola se incrementa ligeramente a través del tiempo para los excesos negativos. En contraste, la tendencia del índice de la cola tiende a disminuir para los excesos positivos, incluso se puede apreciar que los índices de la cola comienzan a converger al mismo valor a partir del tercer trimestre de 2013.

A pesar de que la Gráfica 1.6 muestra claramente que las colas superior e inferior tienen características similares a través del tiempo. Sin embargo, los valores del estadístico *t*-Student que se encuentran en el rango 43.61-43.91 y que se compara al valor crítico de 1.98 con 154 grados de libertad, indican que las medias de las colas superior e inferior son estadísticamente diferentes a un nivel de significancia de 5 por ciento. Este hallazgo implica que los efectos de los movimientos extremos en los precios del petróleo originados por desequilibrios en la oferta y demanda de los precios internacionales de referencia tienen diferentes consecuencias económicas-financieras para los participantes en el mercado del petróleo Maya, en particular para las autoridades gubernamentales que dependen directamente de los ingresos petroleros para reactivar la economía mexicana.

GRÁFICA 1.6
Evolución de las colas inferior y superior fuera de la muestra



1.5 Conclusiones

Este trabajo realiza un estudio comparativo para identificar si las colas superior e inferior de la distribución empírica de los rendimientos de los precios del petróleo Maya presentan características similares en el periodo del 2 de enero de 2011 al 31 de octubre de 2014. Durante el estudio se emplearon diversas técnicas de la TVE para ajustar la distribución de excesos negativos y positivos que exceden a los diferentes umbrales óptimos. El análisis preliminar de los datos dentro de la muestra evidencia volatilidad alta y persistente, diferentes niveles de asimetría generados por la volatilidad en aglomeraciones y el fenómeno de colas anchas originado por movimientos extremos temporales. Estos importantes hallazgos coadyuvan a destacar la eficiencia de la DPG para modelar el comportamiento extremo de las colas de la distribución empírica de los rendimientos del petróleo Maya, porque el uso de la distribución normal e incluso la distribución de valores extremos generalizada pueden proporcio-

nan estimaciones sesgadas de la predicción de eventos extremos. En el análisis fuera de la muestra, los resultados empíricos muestran que la cola superior es ligeramente más ancha que la cola inferior, pero con el transcurso del tiempo parece que ambas colas tienden a converger a un mismo valor, lo que indica que el valor del índice de la cola para los excesos positivos tiende a disminuir en el largo plazo, mientras que el índice de la cola de los excesos negativos se incrementa en la medida que información reciente ingresa al mercado. Sin embargo, este importante hallazgo empírico no es sustentado estadísticamente por los valores de la prueba de la *t*-Student que señalan que las medias de las colas son significativamente diferentes a un nivel de 5 por ciento. Por lo que la presencia de excesos extremos de diferente signo representa diferentes niveles de riesgo para los productores y consumidores de petróleo Maya.

1.6 Bibliografía

- Aggarwal, R. & M. Qi (2009). Distribution of Extreme Changes in Asian Currencies: Tail Index Estimates and Value-at-Risk Calculations, *Applied Financial Economics*, 9 (13), pp. 1083–1102.
- Azzalini, A. (1985). A Class of Distribution Which Includes the Normal Ones, *Scandinavian Journal of Statistics*, 12 (2), pp. 171–178.
- Azzalini, A. (1986). Further Results on a Class of Distribution Which Includes the Normal Ones, *Statistica*, 46 (2), pp. 199–208.
- Bachelier, L. (1900). Théorie de la Spéculation, *Annales de l'Ecole Normale Supérieure*, 17 (3), pp. 21-86.
- Black, F. & M. Scholes (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities, *Journal of Political Economy*, 81 (3), pp. 637-653.
- Fama, E. (1965). The Behavior of Stock Market Prices, *Journal of Business*, 38 (3), pp. 34-105.
- De Jesús, R., & E. Ortiz (2011). Risk in Emerging Stock Markets from Brazil and Mexico: Extreme Value Theory and Alternative Value at Risk Models, *Frontiers in Finance and Economics*, 8 (2), pp. 49-88.
- De Jesús, R., E. Ortiz & A. Cabello (2013). Long Run Peso/Dollar Exchange Rates and Extreme Value Behavior: Value at Risk Modeling, *North American Journal of Economics and Finance*, 24 (1), pp. 139-152.

- Fernandez, C & M. Steel (1998). On Bayesian Modeling of Fat Tails and Skewness, *Journal of the American Statistical Association*, 93 (441), pp. 359-371.
- Geman, H. & C. Kharoubi (2008). WTI Crude Oil Futures in Portfolio Diversification: The Time to Maturity Effect, *Journal of Banking and Finance*, 32 (12), pp. 2553-2559.
- Ghorbel, A. & A. Trabelsi (2014). Energy Portfolio Risk Management Using Time-Varying Extreme Value Copula Methods, *Economic Modelling*, 38 (2), pp. 470-485.
- Heikkinen, V. P. & A. Kanto (2002). Value at Risk Estimation Using Non-Integer Degrees of Freedom of Student's Distribution, *Journal of Risk*, 4 (2), pp. 77-84.
- Hull, J. & A. White (1998). Value at Risk When Daily Changes in Market Variables Are Not Normally Distributed, *The Journal of Derivatives*, 5 (3), pp. 9-19.
- Karmakar, M. (2013). Estimation of Tail-Related Risk Measures in the Indian Stock Market: An Extreme Value Approach, *Review of Financial Economics*, 22 (3), pp. 79-85.
- Karmakar, M. & G.K. Shukla (2015). Managing Extreme Risk in some Major Stock Market: An Extreme Value Approach, *International Review of Economics and Finance*, 35 (1), pp. 79-85.
- Krehbiel, T. & L.C. Adkins (2005). Price Risk in the NYMEX Energy Complex: An Extreme Value Approach, *The Journal of Futures Markets*, 25 (4), pp. 309-337.
- Longin, F.M. (2000). From Value at Risk to Stress Testing: The Extreme Value Approach, *Journal of Banking & Finance*, 24 (7), pp. 1097-1130.
- Mandelbrot, B. (1963). The Variation of Certain Speculative Prices, *Journal of Business*, 36 (4), pp. 394-419.
- Marimoutou, V., B. Raggad y A. Trabelsi (2009). Extreme Value Theory and Value at Risk: Application to Oil Market, *Energy Economics*, 31 (4), pp. 519-530.
- McNeil, A.J. & R. Frey (2000). Estimation of Tail-Related Risk Measures for Heteroscedastic Financial Time Series: An Extreme Value Approach, *Journal of Empirical Finance*, 7 (3-4), pp. 271-300.
- Markowitz, H. (1959). *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investment*, John Wiley and Sons, New York.
- Ren, F. & D.E. Giles (2010). Extreme Value Analysis of Daily Canadian Crude Oil Prices, *Applied Financial Economics*, 20 (12), pp. 941-954.
- Sharpe, W. (1964). Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Condition of Risk, *Journal of Finance*, 19 (3), pp. 425-442.

- Tolikas, K. & G.D. Gettinby (2009). Modelling the Distribution of the Extreme Share returns in Singapore, *Journal of Empirical Finance*, 16 (2), pp. 254-263.
- Zikovic, S. (2011). Measuring Risk of Crude Oil at Extreme Quantiles, *Journal of Economics and Business*, 29 (1), pp. 9-31