

**EVALUACIÓN Y GESTIÓN DEL RIESGO FINANCIERO EN UNA CADENA
DE ABASTECIMIENTO DE UN SECTOR PRODUCTIVO EN COLOMBIA**

ANGÉLICA MARÍA BUSTOS GONZÁLEZ

LUIS FELIPE RAMÍREZ DOMÍNGUEZ



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI**

2015

**EVALUACIÓN Y GESTIÓN DEL RIESGO FINANCIERO EN UNA CADENA
DE ABASTECIMIENTO DE UN SECTOR PRODUCTIVO EN COLOMBIA**

**Trabajo de Grado para Optar por el Título de:
Ingeniero Industrial**

ANGÉLICA MARÍA BUSTOS GONZÁLEZ

LUIS FELIPE RAMÍREZ DOMÍNGUEZ

DIRECTOR

PHD. DIEGO FERNANDO MANOTAS DUQUE

CO-DIRECTORA

ECONOMISTA STEPHANÍA MOSQUERA LOPEZ



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI**

2015

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado: _____

Jurado: _____

Jurado: _____

Santiago de Cali, 29 de Mayo de 2015

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios por guiar mis pasos; a mis padres por su esfuerzo y dedicación para forjar lo que soy hoy como persona; a mi familia por darme la fortaleza de seguir adelante; a mi sobrino Nicolás por ser la luz de mis ojos; a mi compañero de trabajo de grado por su amistad, esfuerzo y motivación los cuales hicieron de esta experiencia algo muy gratificante para mí; a Daniel por brindarme todo su amor, apoyo y comprensión.

Angélica María Bustos González

A Dios por todas las bendiciones que he recibido; a mis padres, a mi abuelita y a mis hermanos, quienes han sido el motor de mis logros, se han esforzado por brindarme lo mejor y me han dado todo su apoyo y amor; a mi tío y mi familia, que me han brindado consejos, palabras de aliento y apoyo; a mi compañera de trabajo de grado por su paciencia, tolerancia, motivación y perseverancia, que han sido vitales para la culminación de este trabajo, y que han hecho del mismo una experiencia enriquecedora y gratificante para mí; a mis amigos Luis, Daniel y Kevin, quienes nos han brindado su amistad sincera e incondicional.

Luis Felipe Ramirez Dominguez

Agradecemos a todos los profesores del programa de Ingeniería Industrial por transmitirnos tanto sus conocimientos teóricos como experiencias de vida, especialmente a nuestro director de trabajo de grado Diego Fernando Manotas, por la confianza que ha depositado en nosotros, por todo el soporte y el apoyo que nos ha brindado y por habernos hecho partícipes de esta investigación; a nuestra co- directora Stephanía Mosquera por su paciencia y por compartir sus conocimientos técnicos para la realización de este trabajo de grado; queremos también agradecer al profesor Camilo Andrés Micán por sus palabras de aliento y su apoyo incondicional; a nuestros amigos y compañeros por hacer parte tanto del proceso de formación como en el desarrollo de este trabajo.

Los Autores

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. Objetivo general.....	13
2.2. Objetivos Específicos.....	13
3. SELECCIÓN DE UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO REPRESENTATIVA PARA LA ECONOMÍA COLOMBIANA	14
3.1. Criterios de selección para el sector.....	14
3.1.1. Producto Interno Bruto (PIB)	14
3.1.2. Nivel de exportación.....	16
3.1.3. Nivel de importación.....	16
3.2. Criterios para la selección del commodity.....	17
3.2.1. Posición competitiva del país frente al mercado internacional .	18
3.2.2. Aporte por concepto de regalías	19
3.2.3. Relación reservas/producción.	20
3.3. Resultado de la aplicación de la herramienta multicriterio para la toma de decisiones (AHP-Analytic hierarchy process).....	21
4. CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO.....	22
4.1. Cadena de abastecimiento del carbón.....	23
4.2. Entorno Regulatorio.....	23
4.3. Producción de carbón térmico en Colombia	24
4.4. Mercado nacional del carbón:.....	25
4.4.1. Precio para consumo interno del carbón térmico	28
4.5. Mercado internacional del carbón Térmico	29
4.5.1. Contratación del carbón	32
4.5.1.1. Mercado <i>Spot</i>	32
4.5.1.2. Mercado a Plazo.....	32
4.5.2. Lugar de entrega.....	33
4.5.3. Precio internacional del carbón	34
4.5.4. Transporte del carbón.	35
4.5.5. Transporte internacional.....	36

4.5.6.	Mercado de fletes.....	36
4.5.7.	Regalías	37
4.5.8.	Análisis de los factores de riesgo financiero en la cadena de abastecimiento del carbón.....	41
4.5.8.1.	Precio internacional del carbón.....	41
4.5.8.2.	Precio internacional del flete.....	42
4.5.8.3.	Tasa representativa del mercado	42
5.	MEDIDAS DE RIESGO FINANCIERO.....	43
5.1.	Valor en riesgo (VaR)	43
5.1.1.	VaR Paramétrico	43
5.1.1.1.	Modelos AR y MA	45
5.1.1.2.	Modelos ARIMA.....	45
5.1.1.3.	Proceso de volatilidad condicional ARCH-GARCH.....	46
5.1.2.	VaR No Paramétrico	47
5.1.2.1.	VaR mediante Simulación Histórica.....	47
5.1.3.	VaR Semi-paramétrico.....	47
5.1.3.1.	VaR mediante Simulación Monte Carlo (SMC).....	47
5.1.4.	Críticas del VaR	48
5.2.	Expected Shortfall (ES)-Pérdida en las colas.....	49
6.	DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS SERIES.....	50
7.	MEDICIÓN DE RIESGO FINANCIERO.....	59
7.1.	Propuesta de las metodologías para el cálculo del VaR y ES	59
7.1.1.	Metodología 1. VaR y ES estático y condicional (dinámico)	61
7.1.2.	Metodología 2. VaR y ES mediante la Simulación Monte Carlo	62
7.1.3.	Metodología 3. VaR y ES mediante Simulación histórica.....	63
7.1.4.	Metodología 4. VaR y ES mediante el software @Risk.....	64
8.	Resultados y análisis.....	66
8.1.	Regalías.....	66
8.2.	VaR.....	72
8.3.	ES.....	74
9.	PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE COBERTURA FRENTE AL RIESGO FINANCIERO.....	76
9.1.	Estado.....	76

9.2. Empresas.....	77
10. CONCLUSIONES	79
11. BIBLIOGRAFÍA	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1. Zonas Carboníferas para liquidación de regalías de carbón térmico para exportación.	40
Tabla 6.1. Test de raíces unitarias API2	51
Tabla 6.2. Test de raíces unitarias retorno logarítmico del API2.....	51
Tabla 6.3. Modelos ARMA para los tres factores de riesgo	56
Tabla 6.4. Media y Varianza de largo plazo para cada factor de riesgo financiero.	58
Tabla 8.1. Regalías Anuales (2010-2015).	67
Tabla 8.2. VaR, resultados aplicación de las metodologías.....	72
Tabla 8.3. VaR Regalías y estimado.....	73
Tabla 8.4. ES, resultados de la aplicación de las metodologías.	74
Tabla 8.5. ES Regalías y estimado	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1. Reservas probadas a nivel nacional y a nivel mundial.	21
Gráfico 4.1. Porcentaje de la producción destinado a exportación, por departamentos de la zona interior del país.	25
Gráfico 4.2. Evolución del precio del carbón FOB en Puerto Bolívar y el precio de compra reportado por termoeléctricas colombianas.	28
Gráfico 4.3. . Evolución del precio de exportación FOB en Puerto Bolívar y el precio del carbón para consumo interno reportados por el SIMCO (Sistema de Información Minero Colombiano).	29
Gráfico 4.4. Comportamiento del consumo del Carbón a nivel mundial.	31
Gráfico 4.5. Proyección de generación de energía en el sureste de Asia a partir de combustibles (2011-2015).	32
Gráfico 6.1. Serie de Precio API 2.	52
Gráfico 6.2. Serie retornos logarítmicos API2.	52
Gráfico 6.3. Serie de Precio BCI7.	53
Gráfico 6.4. Serie retornos logarítmicos BCI7.	53
Gráfico 6.5. Serie de Precio TRM.	53
Gráfico 6.6. Serie retornos logarítmicos TRM.	54
Gráfico 6.7. Estadística descriptiva de los retornos.	55
Gráfico 6.8. Correlograma retornos logarítmicos API2.	55
Gráfico 6.9. Correlograma de Residuales estandarizados API2.	57
Gráfico 6.10. Correlograma de Residuales estandarizados TRM.	57
Gráfico 6.11. Correlograma de Residuales estandarizados BCI7.	58
Gráfico 8.1. Regalías anuales (2010-2015), incluyendo y sin incluir el precio de liquidación de carbón térmico para consumo interno.	68
Gráfico 8.2. Regalías trimestrales de carbón térmico de exportación. Incluyendo y sin incluir precio para consumo interno.	68
Gráfico 8.3. Ingreso marginal anual por incluir el precio para consumo interno en el cálculo del precio base de liquidación de las regalías de carbón térmico de exportación.	69
Gráfico 8.4. . Ingreso marginal trimestral por incluir el precio para consumo interno en el cálculo del precio base de liquidación de las regalías de carbón térmico de exportación.	69
Gráfico 8.5. Diferentes proyecciones Regalías Carbón térmico de exportación vs regalías causadas.	70
Gráfico 8.6. Serie de precios API2, BCI7 y TRM. Énfasis en situaciones adversas.	71
Gráfico 8.7. Volumen exportación de Carbón (2010-2014).	71
Gráfico 8.8. VaR obtenido mediante @risk, con distribución t.student.	73
Gráfico 8.9. VaR y ES Regalías Carbón Térmico de exportación, trimestre IV de 2015.	75

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3.1. Producto Interno Bruto de Colombia en el año 2013.....	15
Ilustración 3.2. Producto Interno Bruto de Colombia en el año 2014.	15
Ilustración 3.3. Niveles de exportación en Colombia para los años 2013 y 2014.	16
Ilustración 3.4. Niveles de importación en Colombia para los años 2013 y 2014.	17
Ilustración 3.5. Reservas probadas de Carbón.	18
Ilustración 3.6. Reservas probadas de petróleo en el mundo.	19
Ilustración 3.7. Regalías generadas por commodity.	20
Ilustración 3.8. Relación reservas probadas/producción.....	21
Ilustración 4.1. Usos del carbón según clasificación estadounidense.....	22
Ilustración 4.2. Estructura del Sector Minero en Colombia.	24
Ilustración 4.3. Composición del mercado interno colombiano del carbón. .	27
Ilustración 4.4. Mercado internacional del Carbón, exportadores e importadores.	30
Ilustración 4.6. Descripción gráfica términos de negociación internacional (Incoterms).....	34
Ilustración 7.1. Situaciones adversas que generan disminuciones en el ingreso por Regalías de carbón térmico de exportación.....	59
Ilustración 7.2. Metodologías empleadas en el cálculo del VaR y el ES	59
Ilustración 7.3 Metodología para el cálculo del precio base para la liquidación de regalías para carbón térmico de exportación.	61
Ilustración 7.4. Metodología para medición 1, VaR y ES estático y dinámico.	62
Ilustración 7.5. Metodología 2, VaR y ES mediante Simulación Monte Carlo	63
Ilustración 7.6. Metodología 3, VaR y ES mediante Simulación Histórica ...	63
Ilustración 7.7. Metodología 4, simulación en el software @Risk.	65

INTRODUCCIÓN

Las cadenas de abastecimiento y las redes logísticas en el mundo están marcadas por la exposición a múltiples tipos de riesgo, entendiéndose este como la probabilidad de obtener rendimientos que afectan de forma negativa a una organización. Entre los tipos de riesgo se encuentra el riesgo financiero de mercado, el cual está asociado a las fluctuaciones que presentan las variables del mercado.

Dado que Colombia se ha distinguido por ser un país productor de bienes básicos o *commodities* y debido a que este mercado no tiene una madurez relevante en el país, (es decir, no se tiene una claridad acerca de cómo gestionar el riesgo al cual está expuesto un sector productivo en Colombia), surge la necesidad de cuantificar y gestionar el riesgo financiero de mercado al cual está expuesto un commodity representativo para la economía Colombiana. Es este entonces el objetivo del presente trabajo.

El contenido de este trabajo se estructura de la siguiente manera:

En primer lugar, se realiza una selección de una cadena de abastecimiento teniendo en cuenta información primaria como indicadores macroeconómicos. Además, se consideran criterios como el impacto que el sector genera en la economía, sectores de mayor madurez tanto exportadora como importadora, o sectores que pudieran tener un mayor beneficio con esta investigación. De acuerdo con estos criterios la cadena de abastecimiento a estudiar es el carbón térmico de exportación.

En segundo lugar, se realiza una identificación de los factores de riesgo financiero que impactan en las operaciones realizadas por el sector. Lo anterior se lleva a cabo mediante una caracterización de la cadena de abastecimiento orientada a determinar aquellos factores como el precio del *commodity* o tasas de cambio que debido a su naturaleza representan incertidumbre para el sector. En el caso de esta investigación se identifican tres factores de riesgo: el precio del *commodity*, el precio del flete y la tasa representativa del mercado. Estos factores de riesgo son variables estocásticas y de alta volatilidad, hecho que representa riesgo financiero tanto para las empresas carboníferas como para el estado Colombiano.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización de la cadena, se considera pertinente cuantificar el riesgo percibido en el ingreso del estado Colombiano por concepto de regalías.

Por lo anterior, se presenta un marco teórico de las diferentes medidas y métodos que se utilizan en la presente investigación para la cuantificación del riesgo. Se realiza una modelación de media y varianza de cada factor de riesgo mediante los modelos ARIMA-GARCH, debido a que las series financieras tienen un comportamiento estocástico, de colas pesadas (exceso de curtosis) y presentan conglomerados de volatilidad. Se utiliza tres enfoques para la estimación del riesgo, los cuales corresponden al VaR y ES paramétricos suponiendo distribución normal y t-student, un enfoque semi-paramétrico mediante el uso de la Simulación Monte Carlo con distribución normal y t-student y por último un VaR y ES no paramétrico mediante la simulación histórica.

De esta manera, se estima el VaR (*Value at risk por sus siglas en inglés*) y el ES (*Expected Shortfall, por sus siglas en inglés*) del precio de liquidación de las regalías por explotación de carbón térmico de exportación. En otras palabras, esta investigación se enfoca en el punto de vista del estado Colombiano.

Finalmente se diseñan estrategias de cobertura a partir de la cuantificación del riesgo, además se proponen consideraciones frente a la forma como se calcula actualmente el precio de liquidación de las regalías por explotación de carbón térmico de exportación y se plantean diferentes focos de investigación.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gestión del riesgo financiero es de vital importancia para las organizaciones, dado que tener un manejo óptimo de la incertidumbre constituye la brecha entre obtener los resultados esperados y tener consecuencias negativas en las utilidades de la organización, lo que puede traer consigo en el corto plazo desventajas competitivas para la compañía.

Cabe resaltar que todas las compañías están expuestas a diferentes tipos de riesgo, entre los más importantes se encuentran el riesgo operacional, riesgo legal, riesgo de crédito y riesgo de mercado (Merna & Faisan, 2005). Este proyecto se centra en el riesgo de mercado, el cual ilustra las variaciones en los retornos debido a contingencias que afectan al mercado y que no pueden ser evitadas por la empresa al diversificar sus inversiones en otras firmas, debido a que todas se ven afectadas, de acuerdo con (Arriagada Carrazana, 2001), citado por (Agudelo & Arias, 2011).

En efecto, el riesgo de mercado obedece a las fluctuaciones que sufren los precios de los *commodities*, término que proviene del idioma inglés “*Commodity*” el cual traducido literalmente significa “artículo” o “mercancía”, sin embargo para este contexto se refiere a las diferentes materias primas brutas que no han sufrido cambios significativos. Dado que los *commodities* cotizan en bolsa, donde el precio varía significativamente, representa un factor de constante incertidumbre para las empresas en el momento de negociar y tomar decisiones.

Colombia es un país tradicionalmente exportador de materias primas, con unas pocas excepciones, como la importación de maíz. Las empresas dedicadas a la exportación o importación de materias primas se ven naturalmente expuestas a las fluctuaciones de la tasa representativa del mercado. Dichas fluctuaciones pueden afectar el ingreso o los costos de producción de las empresas dependiendo de su naturaleza exportadora o importadora. Dependiendo del sector, así serán los diferentes riesgos a los cuales estará expuesta una empresa. Es por esto que se considera de vital importancia analizar, medir y gestionar el riesgo financiero en una cadena de abastecimiento.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Diseñar una metodología para la identificación, medición y gestión de riesgo financiero en la cadena de abastecimiento de un sector de la economía colombiana.

2.2. Objetivos Específicos

1. Seleccionar una cadena de abastecimiento perteneciente a un sector representativo para la economía colombiana por medio de una herramienta multicriterio para la toma de decisiones.
2. Identificar los factores de riesgo financiero mediante la caracterización de la cadena de abastecimiento seleccionada.
3. Diseñar y aplicar una metodología para la medición cuantitativa del riesgo financiero de la cadena de abastecimiento considerada.
4. Formular estrategias de cobertura frente a los riesgos cuantificados, con base en el análisis de los resultados de la medición.

3. SELECCIÓN DE UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO REPRESENTATIVA PARA LA ECONOMÍA COLOMBIANA

Colombia se caracteriza por ser un país rico en recursos naturales, dispone de diversos *commodities* agrícolas, mineros, entre otros. Esta característica permite al país participar de forma activa en el mercado internacional de materias primas. No obstante, es necesario analizar detalladamente el mercado internacional con el fin de visualizar los diferentes tipos de riesgo a los cuales están expuestas las empresas pertenecientes a un sector clave de la economía. Se definen tres criterios para la selección de un sector representativo para la economía colombiana. Posteriormente, se emplea una herramienta multicriterio para la toma de decisiones cuyo resultado es la selección del *commodity* perteneciente a dicho sector.

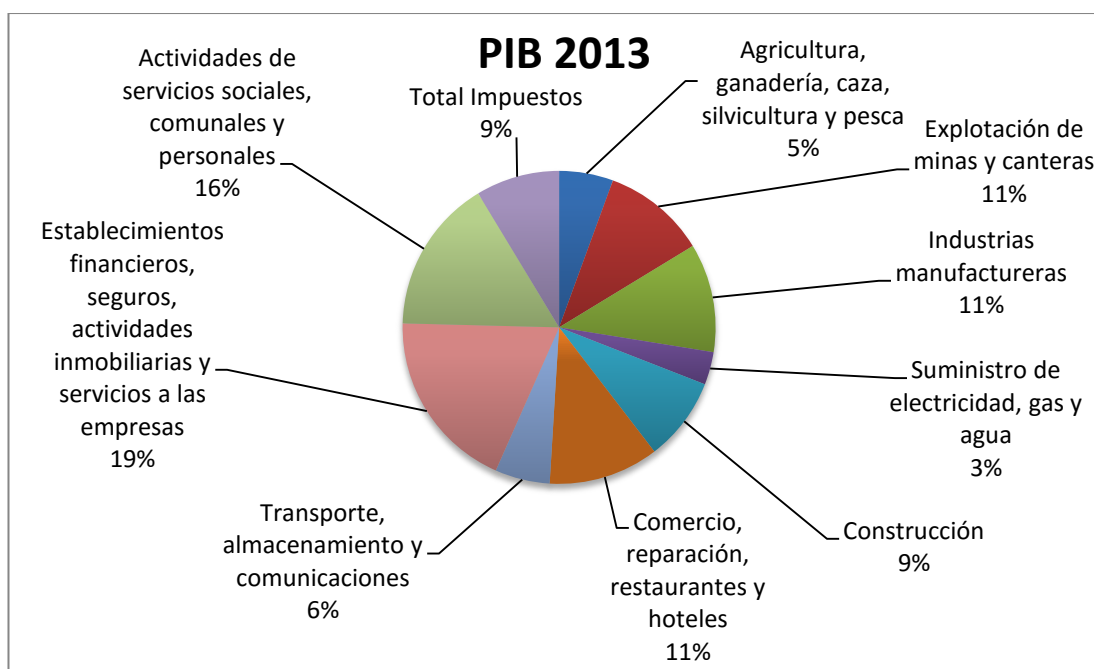
3.1. Criterios de selección para el sector

Para seleccionar la cadena de abastecimiento se considera el impacto que puede tener el sector en la economía colombiana, como los efectos que pueden generar en los ingresos del país y de las empresas pertenecientes a dicho sector. En este sentido, los criterios a utilizar se definieron como la participación en el producto interno del país en el año 2013-2014, nivel de exportación e importación del sector.

3.1.1. Producto Interno Bruto (PIB)

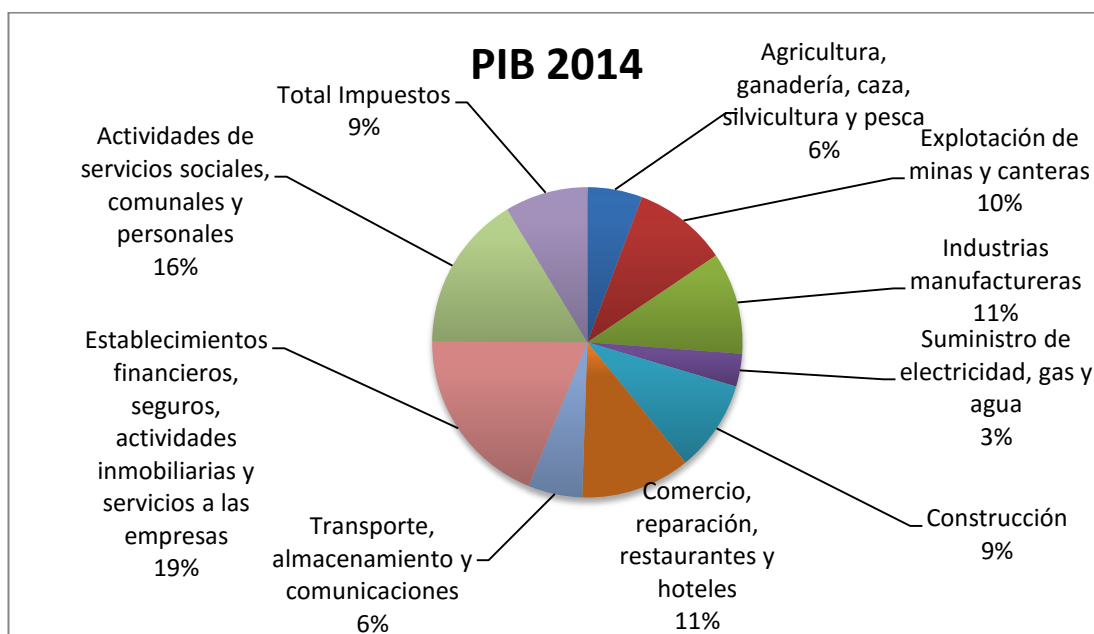
Como se observa en los gráficos 1 y 2, en el PIB del año 2013 y 2014 se destacan dos sectores que contienen la mayor parte de los *commodities* producidos en Colombia, el sector Agrícola y el sector Minero, sobresaliendo éste último en participación dentro del PIB total.

Ilustración 3.1. Producto Interno Bruto de Colombia en el año 2013



Fuente: DANE

Ilustración 3.2. Producto Interno Bruto de Colombia en el año 2014.

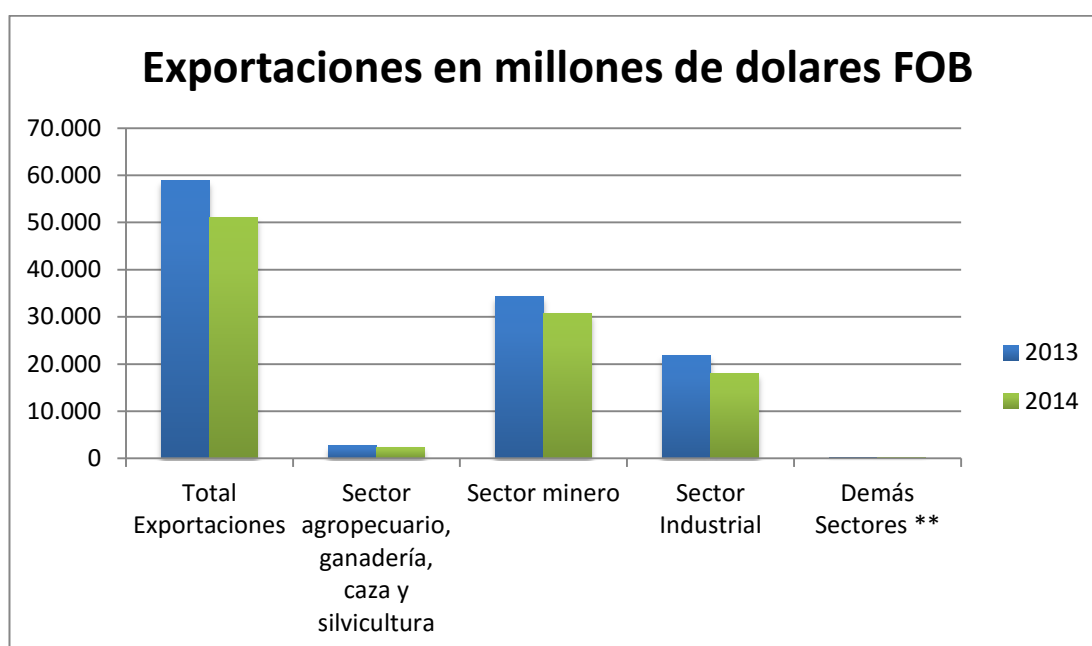


Fuente: DANE

3.1.2. Nivel de exportación

Del gráfico 3 se puede concluir que el sector minero es el sector exportador por excelencia del país, con una participación del 58% y el 60% del total de las exportaciones del país, equivalentes a 34.343 millones USD FOB (*Free on Board*¹) y 30.605 millones USD FOB en el año 2013 y 2014 respectivamente. (Fuente: DANE).

Ilustración 3.3. Niveles de exportación en Colombia para los años 2013 y 2014.



Fuente: DANE

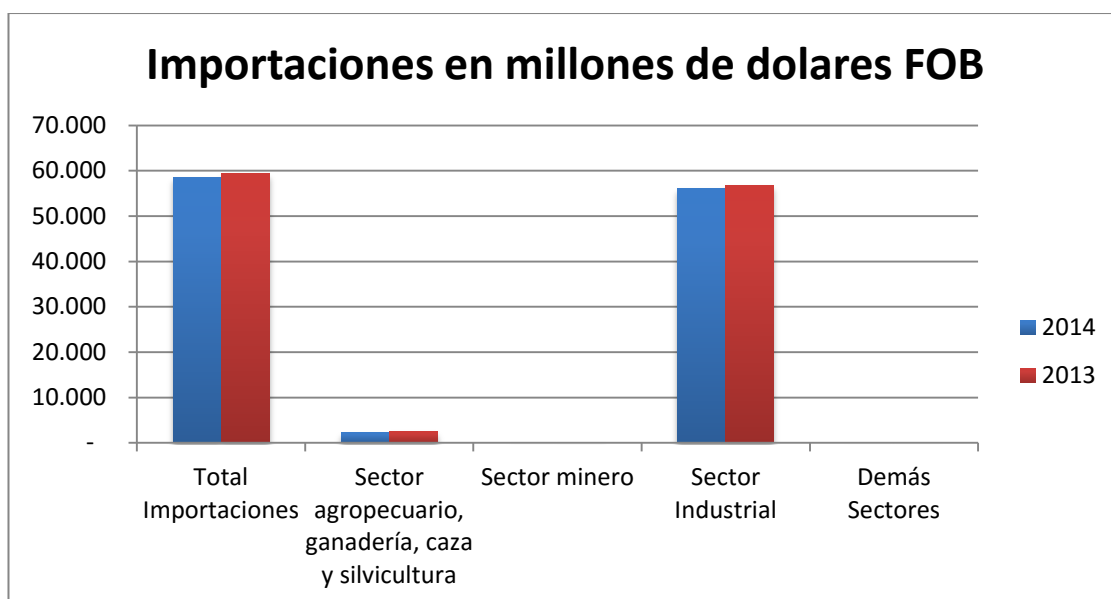
3.1.3. Nivel de importación

En el gráfico 4 se observa que el sector Industrial es el responsable de la mayor parte de las importaciones en el país, sin embargo, dado que en este sector no se encuentran *commodities*, se resalta como un sector clave el Agrícola, destacándose dentro de éste el maíz, el cuál aporta más del 30% del PIB agrícola del país².

¹ Términos de negociación internacional, Incoterms.

² Fuente: DANE; citado por EL UNIVERSAL, 2012

Ilustración 3.4. Niveles de importación en Colombia para los años 2013 y 2014.



Fuente: DANE

En concordancia con los datos presentados anteriormente, se concluye que el sector que más impacto genera en la economía colombiana es el sector minero. Dado un aumento en la producción minera de 1 peso, se genera un aumento en la producción bruta nacional de 2,44 pesos (Ortiz, 2013), lo que lleva a pensar que el sector minero es un sector que no solo jalona la economía nacional por sus propias contribuciones, sino también, jalona la producción en otros sectores tales como energía eléctrica, metalúrgico, construcción, transporte, entre otros. Igualmente el sector minero genera ingresos al país por concepto de regalías, ingresos que son utilizados para el presupuesto nacional direccionados por el plan nacional de Regalías.

La explotación de minas y canteras incluye las actividades de extracción de minerales e hidrocarburos.

3.2. Criterios para la selección del *commodity*

Se procede a definir los criterios a usar en la herramienta multicriterio para la toma de decisiones. Dichos criterios deben ser consecuentes con la naturaleza del sector, en este caso, el sector minero-energético. En este sentido, se definen tres criterios para seleccionar el *commodity* con mayor potencial para Colombia en el largo plazo. Así mismo, se definen tres opciones de *commodities* minero-energéticos, entre los cuales se

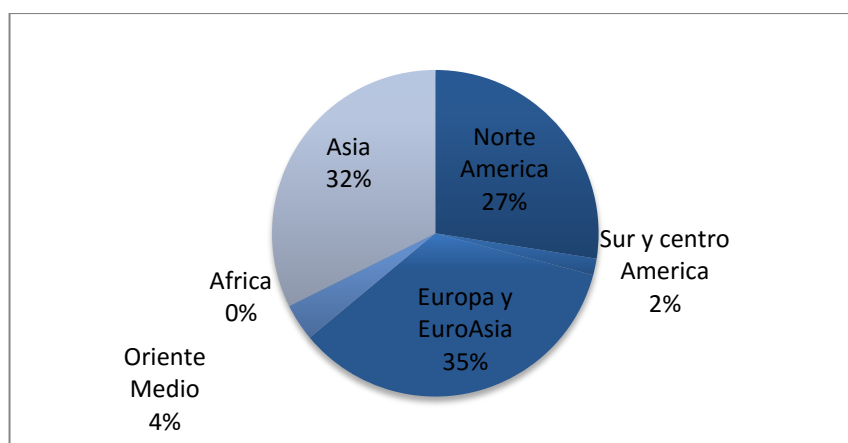
encuentran el carbón mineral, el petróleo y el gas natural. De los anteriores se obtiene el *commodity* objeto de estudio.

3.2.1. Posición competitiva del país frente al mercado internacional

Colombia es el mayor productor de esmeraldas en el mundo, a la vez es el mayor exportador a nivel global, con una participación del 55% en el mercado³.

Colombia, aunque no se encuentra entre los primeros países con grandes reservas de carbón, tiene el 40% de las reservas de Sur y centro América, representando el 0,8% de las reservas mundiales. Sin embargo, el país es el cuarto exportador de carbón térmico en el mundo, con una participación del 10,01% del mercado global. Además, es el noveno productor de carbón térmico (Fuente: British Petroleum).

Ilustración 3.5. Reservas probadas de Carbón.



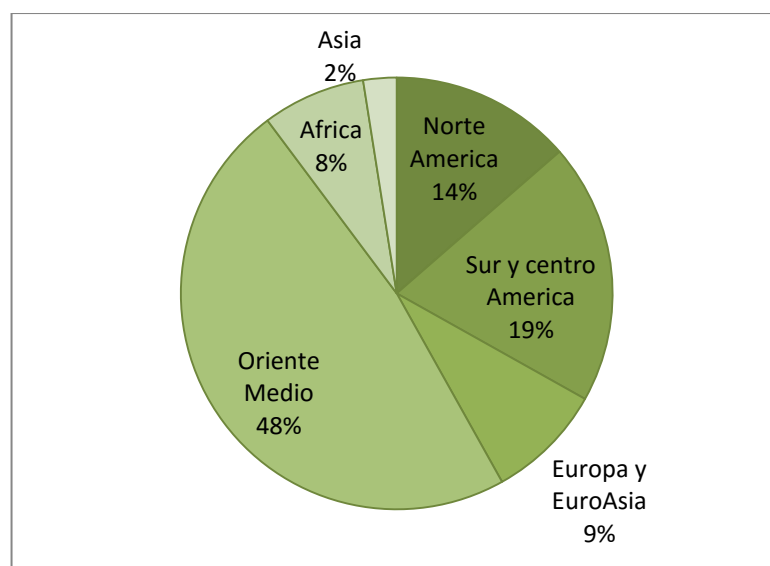
Fuente: Elaboración propia, British Petroleum.

Aunque Colombia es el cuarto productor latinoamericano de petróleo después de Venezuela, México y Brasil, y la producción de hidrocarburos en país ha venido aumentado, no se puede considerar como un país petrolífero, según Daniel Velandia⁴, analista jefe en Credicorp Capital Unidad de Colombia, *“El petróleo es el riesgo más grande de Colombia, los inversores ciertamente se han vuelto más cautelosos ya que el gobierno redujo sus estimaciones de producción”*.

³ Fuente: Artículo *Venta y producción de esmeraldas crecería 5%*, revista Portafolio, Julio 9 de 2014

⁴ Citado por la revista Portafolio en el artículo *El petróleo es uno de los principales retos para Colombia*, Octubre 9 de 2014

Ilustración 3.6. Reservas probadas de petróleo en el mundo.



Fuente: British Petroleum.

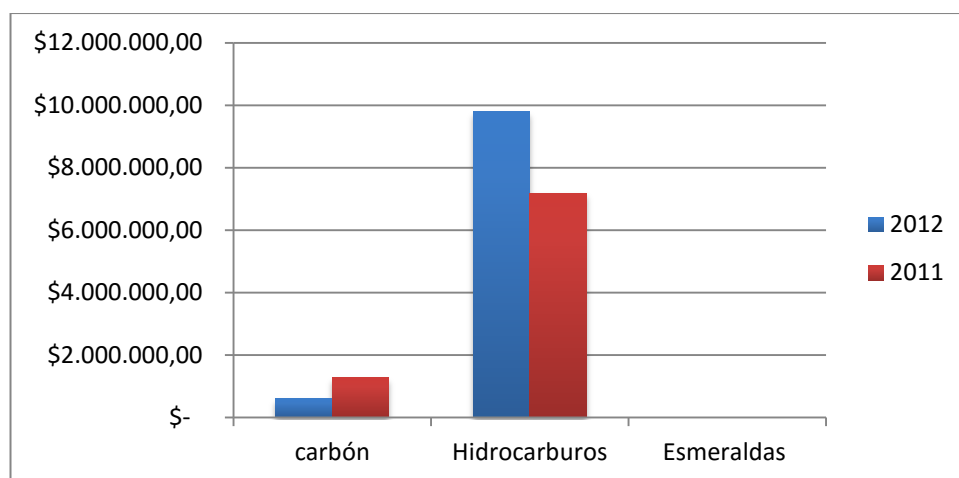
3.2.2. Aporte por concepto de regalías

El sector minero-energético genera ingresos al país debido a la extracción de los recursos naturales no renovables. Dichos recursos son llamados Regalías, y son una fuente importante de ingresos para ejecutar proyectos a nivel nacional, regional, departamental o municipal. En la actualidad, las regalías están reguladas por el Sistema General de Regalías⁵, donde se dictamina el método para el cálculo de la liquidación de las regalías por volumen y precio del recurso, además de la distribución entre los entes territoriales.

En efecto, el mayor aporte por regalías en el 2012 lo hizo el sector hidrocarburos con un monto de 9,8 billones de pesos. Por su parte, el carbón recaudó 0,59 billones de pesos en el mismo año. La extracción de esmeraldas liquidó regalías por 2.221 millones de pesos.

⁵ SGR; Sistema General de Regalías, determina la distribución, objetivos, fines, administración, ejecución, control, el uso eficiente y la destinación de los ingresos provenientes de la explotación de los recursos naturales no renovables precisando las condiciones de participación de sus beneficiarios. Ley transitorio 4923-2011.

Ilustración 3.7. Regalías generadas por commodity.



Fuente: UPME, SIMCO, ANH.

3.2.3. Relación reservas/producción.

En el “*Statistical Review of World Energy*” de junio de 2014 realizado por la empresa British Petroleum⁶, se encuentra un indicador que describe la cantidad de tiempo que cada recurso natural no renovable podría suplir la producción anual (si esta se mantuviese a un ritmo constante) con las reservas probadas por cada nación productora. Este indicador se obtiene al dividir las reservas probadas hasta el año en curso, por el nivel de producción del mismo año.

Según los anteriores datos, las reservas de petróleo probadas en Colombia pueden mantener la producción a un ritmo constante, por los próximos seis años y medio, aún cuando a nivel mundial este rubro asciende a 53,3 años.

En el caso del carbón, Colombia se destaca en materia de reservas, pues puede abastecer su mercado durante 72 años, y las reservas mundiales de carbón podrán abastecer el mercado mundial por 113 años.

Debido a la poca disponibilidad y/o falta de información acerca de este indicador, no se pudo calcular en el caso de las esmeraldas.

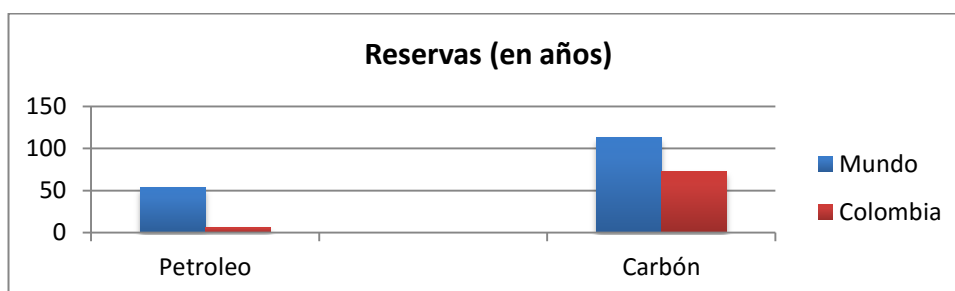
⁶La British Petroleum es una empresa del sector energético que opera a nivel mundial, realiza un reporte anual sobre energía renovable y no renovable en el mundo, llamado *BP-Statisticalreview of worldenergy*.

Ilustración 3.8. Relación reservas probadas/producción.

Reservas probadas a finales 2013	Petróleo				Carbón		
	Miles millones toneladas	Miles millones Barriles	%	Años	Millón toneladas	%	Años
Norte America	35	229,6	13,6%	37,4	245.088	27,5%	250
Sur y centro America	51,1	329,6	19,5%	*	14.641	1,6%	149
Colombia	0,3	2,4	0,1%	6,5	6.746	0,8%	79
Europa y EuroAsia	19,9	147,8	8,8%	23,5	310.538	34,8%	254
Oriente Medio	109,4	808,5	47,9%	78,1	32.936	3,7%	126
Africa	17,3	130,3	7,7%	40,5			
Asia	5,6	42,1	2,5%	14			
Total en el mundo	238,3	1687,9	100%	53,3	891.531	100%	113

Fuente: BP-statical review of WorldEnergy, Junio 2014 y elaboración propia.

Gráfico 3.1. Reservas probadas a nivel nacional y a nivel mundial.



Fuente: BP-statical review of WorldEnergy, Junio 2014 y elaboración propia.

En conclusión, el carbón representa una oportunidad para Colombia en materia de abastecimiento, se perfila como un país referente en este sector. A nivel mundial, el carbón se muestra como una fuente de energía para el futuro por su potencial en materia de reservas.

3.3. Resultado de la aplicación de la herramienta multicriterio para la toma de decisiones (AHP-Analytic hierarchy process).

Dada la información anterior, como resultado de la aplicación de la herramienta AHP, se obtuvo el Carbón como el *commodity* objeto de estudio para el presente trabajo de grado.

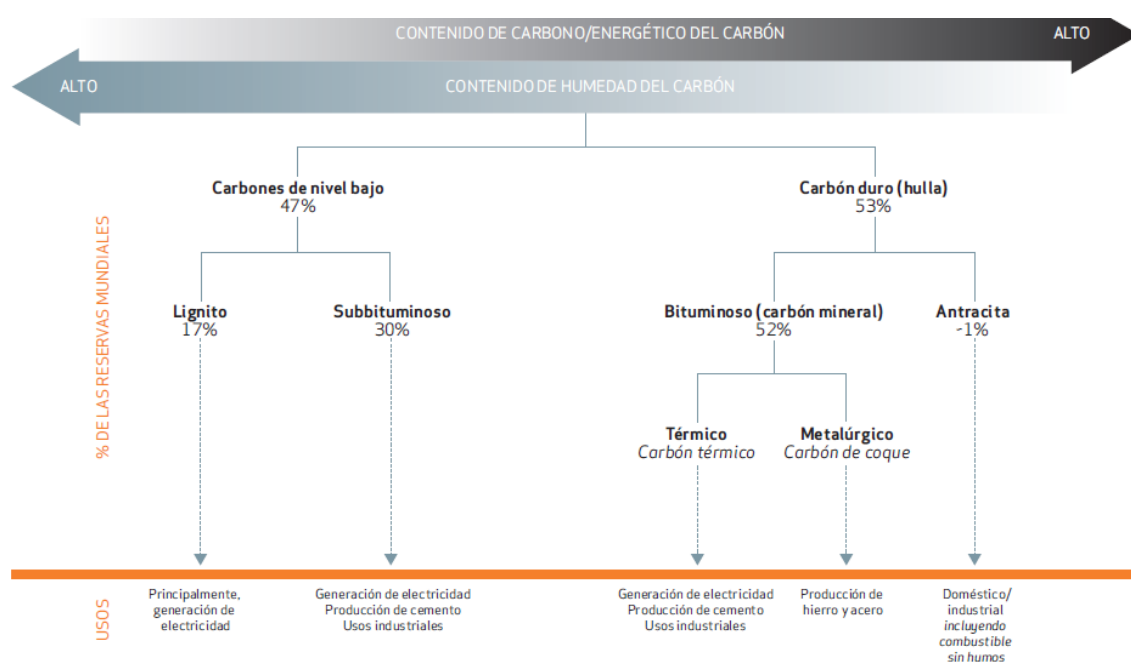
4. CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO.

El carbón es una roca sedimentaria, que se forma por la descomposición de vegetales, se compone principalmente por carbono, aunque también tiene hidrógeno, oxígeno y en menor cantidad nitrógeno, azufre y otros elementos. Su principal uso es para la generación de energía, puesto que se utiliza como combustible.

Entre las características más importantes del carbón se encuentran el poder calorífico y la cantidad de materia volátil presente en el carbón. A su vez, esta característica es un indicador de la calidad del carbón y es de suma importancia en los procesos de negociación, dado que la calidad del mismo debe ser especificada en el contrato. Colombia se caracteriza por la calidad de su carbón, con alto contenido de materia volátil.

La clasificación del carbón más usada es la estadounidense, la cual clasifica el carbón en dos principales categorías: El carbón de alto rango, dividido en Bituminoso y Antracita, y el carbón de bajo rango, dividido en carbón subbituminoso y Lignito. Es importante resaltar que el tipo de carbón más empleado es el Bituminoso, en el cual se encuentran el carbón térmico y el carbón metalúrgico⁷.

Ilustración 4.1. Usos del carbón según clasificación estadounidense.



Fuente: World Coal Association

⁷ Fuente: World Coal association

Es necesario resaltar que el tipo de carbón más negociado a nivel internacional es el térmico, ya que según el informe “*Coal Facts 2014*” publicado por *World Coal Association*, el carbón térmico representó aproximadamente el 77% del comercio mundial de carbón. Además, según el mismo informe, en Colombia este tipo de carbón representa el 98,65% del total de las exportaciones de carbón, ubicándose en el cuarto puesto en el escalafón mundial de exportadores de carbón térmico. Por tanto, el presente trabajo se centrará en el estudio del mercado del carbón térmico.

4.1. Cadena de abastecimiento del carbón

Según la UPME⁸, la cadena de abastecimiento del carbón en Colombia puede explicarse en las siguientes etapas:

- Exploración - reservas y calidades.
- Explotación - desarrollo y montaje, preparación y producción.
- Beneficio - clasificación y lavado del carbón.
- Transformación, en la producción de coque y otros procesos
- Transporte desde la mina hasta el sitio de beneficio y los patios de acopio.
- Transporte, comercialización, distribución y usos.

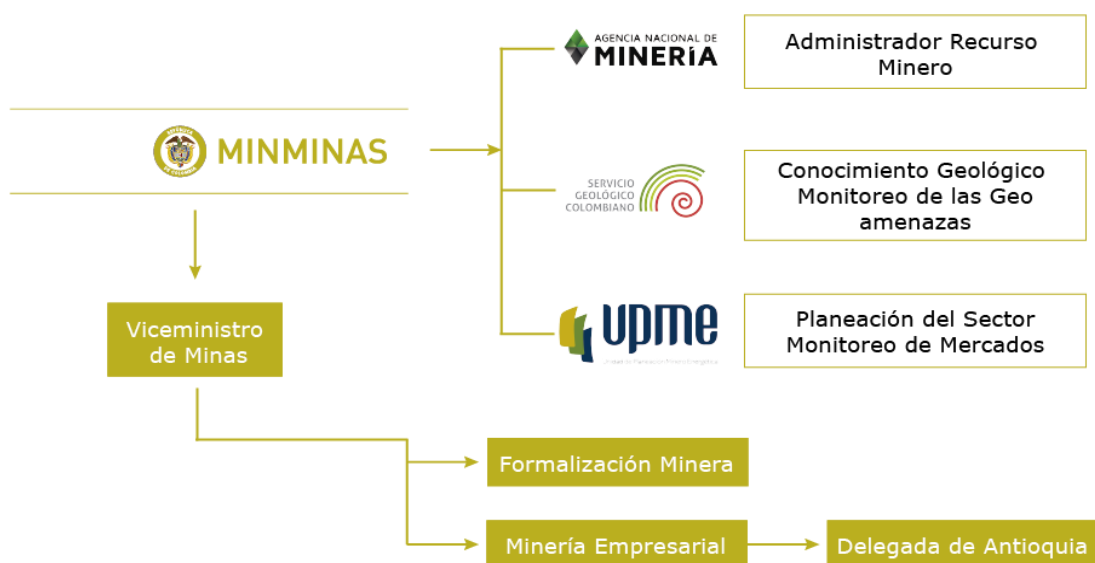
4.2. Entorno Regulatorio.

El Código de Minas, instituyó al Ministerio de Minas y Energía como la autoridad minera en su artículo 317, con las funciones de administración, promoción y facilitación de la actividad minera, fiscalización de las obligaciones de los concesionarios mineros y la correcta distribución de las regalías. Este Ministerio, a través de su Dirección de Minas fija las políticas y las reglas que operan dentro del sector en el Plan Nacional de Desarrollo, el Plan Nacional de Desarrollo Minero y otros actos administrativos. Para el desarrollo de sus funciones la autoridad minera tiene a su servicio entidades adscritas y vinculadas, tales como el Instituto Colombiano de Geología y Minería, Ingeominas y la Unidad de Planeación Minero Energética -UPME- de acuerdo con(Sánchez & Ibañez, 2007)

⁸ Fuente: La cadena de carbón en Colombia UPME(unidad de planeación Minero-Energético)

Finalmente, mediante el Decreto 4134 del 3 de noviembre de 2011, se crea la Agencia Nacional de Minería, ANM, para administrar los recursos minerales de propiedad del Estado, promover el aprovechamiento óptimo y sostenible de los recursos, de conformidad con las normas pertinentes en coordinación con las autoridades ambientales. Con lo esto, se espera superar las dificultades que tenía la autoridad minera delegada para la resolución de propuestas de contrato de concesión y fiscalización minera⁹.

Ilustración 4.2. Estructura del Sector Minero en Colombia.



Fuente: Ministerio de Minas y energía

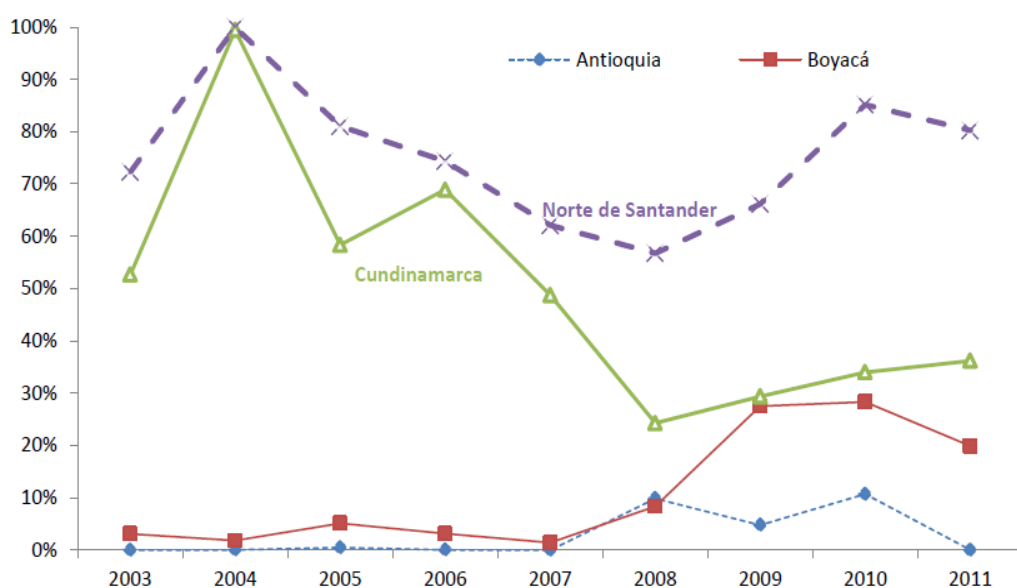
4.3. Producción de carbón térmico en Colombia

La producción de carbón térmico en Colombia tuvo un volumen de 81 millones de toneladas¹⁰ en el año 2013, de los cuales se exportaron 73Mt, equivalentes al 90% del total de la producción nacional. El otro 10% fue destinado al consumo nacional.

⁹Fuente: UPME, SIMCO, Cadena del carbón 2012

¹⁰ Fuente: Coal facts, World Coal Association

Gráfico 4.1. Porcentaje de la producción destinado a exportación, por departamentos de la zona interior del país.



Fuente: Fedesarrollo 2014

El mercado del carbón en Colombia está dividido en dos ramas: el mercado nacional y el mercado internacional.

4.4. Mercado nacional del carbón:

El único recurso energético no regulado en el país es el carbón¹¹, es decir no existe una función definida por el estado que ejerza control sobre los precios de mercado al interior del país. Sin embargo, si existe un referente de precios internos usado únicamente para el cálculo de las regalías del carbón para consumo interno. Esta situación ha generado discrepancias entre consumidores, intermediarios comercializadores y pequeños productores, dado que los mineros a menor escala deben vender su producción a los intermediarios a un precio menor que el del mercado¹², incluso a veces por debajo del costo de producción.

Un ejemplo de lo anterior sucedió con la termoeléctrica Gensa, empresa que abrió una licitación para compra de carbón térmico en el departamento de Boyacá un precio de \$90.000 por tonelada según una resolución emitida por la empresa. No obstante, algunos productores no pudieron cumplir con el volumen del contrato, dando lugar a que las comercializadoras tomaran los

¹¹ "Proyecciones de precios de los energéticos para generación eléctrica enero 2014 – diciembre 2037" UPME-Ministerio de minas y energía-2014

¹² Entendiéndose que este precio de mercado es el que paga un consumidor, como una termoeléctrica.

contratos asegurando los plazos y las cantidades. Según el organismo de control, estos comercializadores pagaron la tonelada a \$60.000 a los productores, cuando en esta zona el costo promedio de producción por tonelada de carbón asciende hasta los \$80.000, ocasionando pérdidas a los productores¹³.

El mercado nacional del carbón se concentra principalmente en los distritos mineros ubicados en la costa Atlántica, Antioquia, Norte de Santander, Boyacá y Cundinamarca. Está conformado por tres principales grupos:

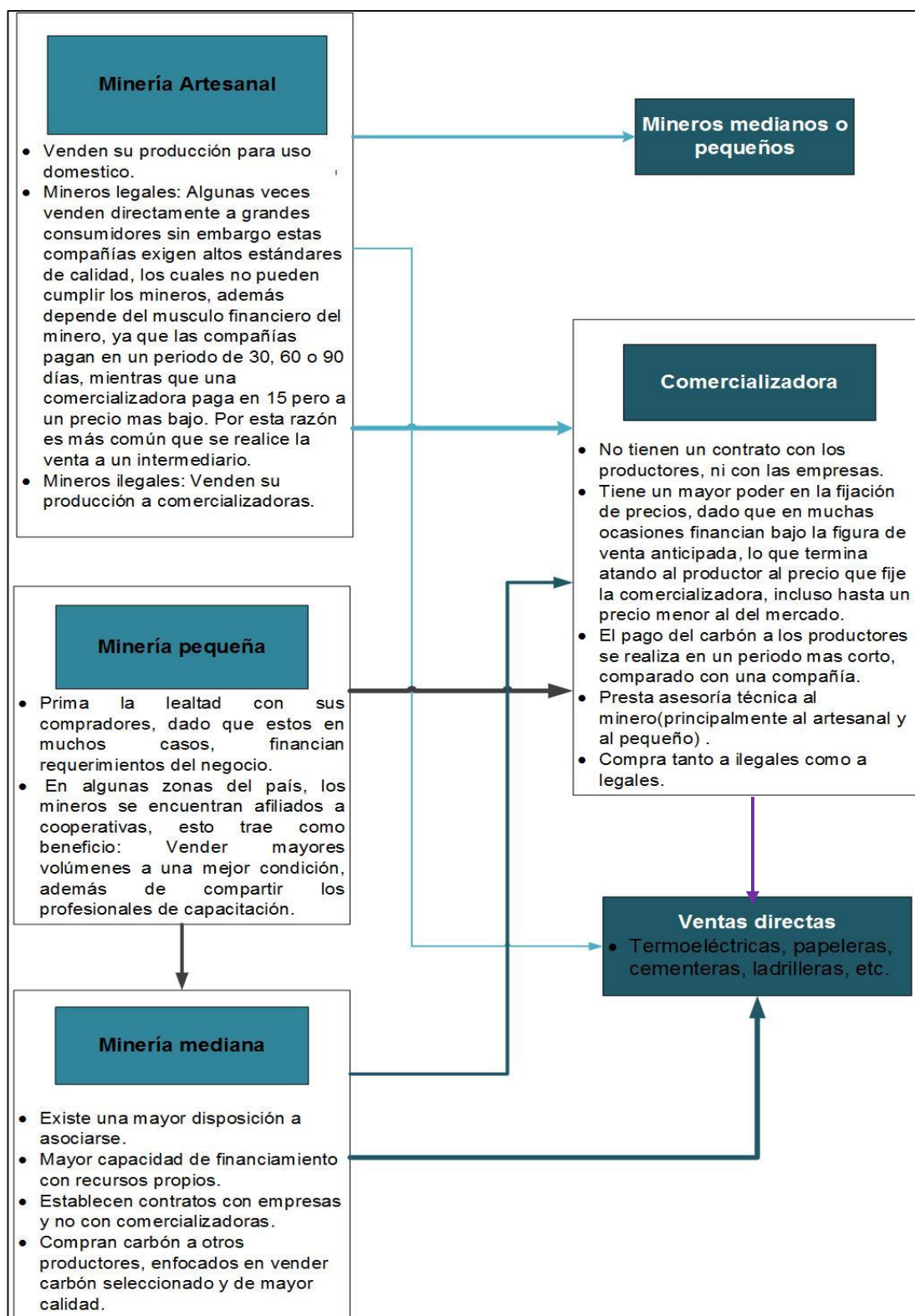
- Productores: se dividen a su vez en minería artesanal, minería pequeña, minería mediana y minería a gran escala.
- Comercializadoras: son empresas intermediarias que obtienen un alto margen del negocio dado que conectan a los pequeños productores con los grandes consumidores del carbón. Dichas empresas compran el carbón a pequeños mineros, reuniendo grandes cantidades y clasificando las calidades para cumplir con los estándares de calidad exigidos por las grandes compañías consumidoras.
- Consumidores: son empresas que requieren del carbón para sus operaciones. Entre estas se destacan las termoeléctricas, compañías papeleras, cementeras, constructoras, entre otros. Cabe resaltar que Colombia ha puesto en marcha diversos proyectos para tener 35 plantas termoeléctricas funcionando para el 2018¹⁴, con el fin de robustecer el sistema interconectado nacional de energía eléctrica (SIN) y diversificar la matriz energética del país como medida de prevención ante fenómenos naturales como el del Niño. Lo anterior generará un aumento en la demanda interna de carbón térmico, ocasionando oportunidades para los productores.

En la ilustración 3 se explica la relación existente entre los tres anteriores grupos en el mercado nacional, además se explican las diferentes características de cada grupo.

¹³ "Alertan sobre mineros de Boyacá que venden al Estado producción ilegal" Noticia Caracol Radio, Julio de 2013

¹⁴ "Habrá cinco plantas térmicas más al 2018 en el país". Noticia Revista Portafolio, Octubre de 2012

Ilustración 4.3. Composición del mercado interno colombiano del carbón.



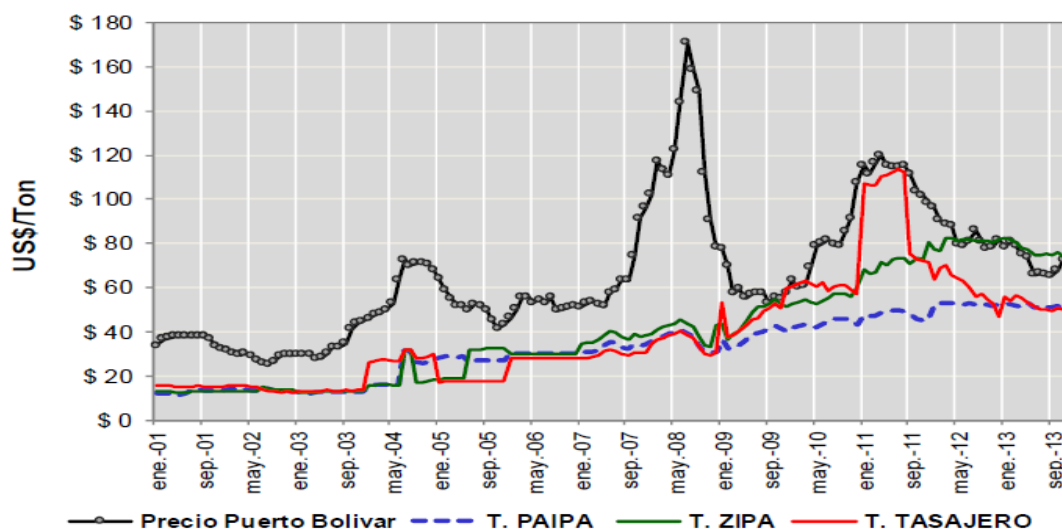
Fuente: *Pequeña y mediana minería de carbón del interior del país: alternativa de comercialización y financiación a partir de la conformación de alianzas estratégicas* (Fedesarrollo 2011), Elaboración propia.

4.4.1. Precio para consumo interno del carbón térmico

En la actualidad no existe un precio que aplique para todas las regiones geográficas del país, puesto que las condiciones y los costos son muy variables dependiendo de la zona. Siendo así, no existen referencias basadas en costos de producción¹⁵. No obstante, como se puede evidenciar en el gráfico 10, existe una relación entre los precios de compra reportados por las termoeléctricas y el precio FOB Puerto Bolívar de exportación del carbón térmico, hecho que coincide con las metodologías para establecer el precio base para liquidación de regalías y compensaciones del carbón para consumo interno. Cabe anotar que los costos logísticos y el tipo de minería influyen también en el precio según la zona. Generalmente las termoeléctricas realizan el proceso de compra de carbón mediante licitación para los productores e intermediarios, lo que impulsa a la competitividad en cada región en cuanto a precio y calidad.

En el gráfico 4.2 se puede observar de forma más detallada la relación entre el precio anual de exportación y el precio anual del carbón para consumo interno. Desde el año 1994 hasta el 2013 se observa una correlación de 0,875 para dichas series de precios.

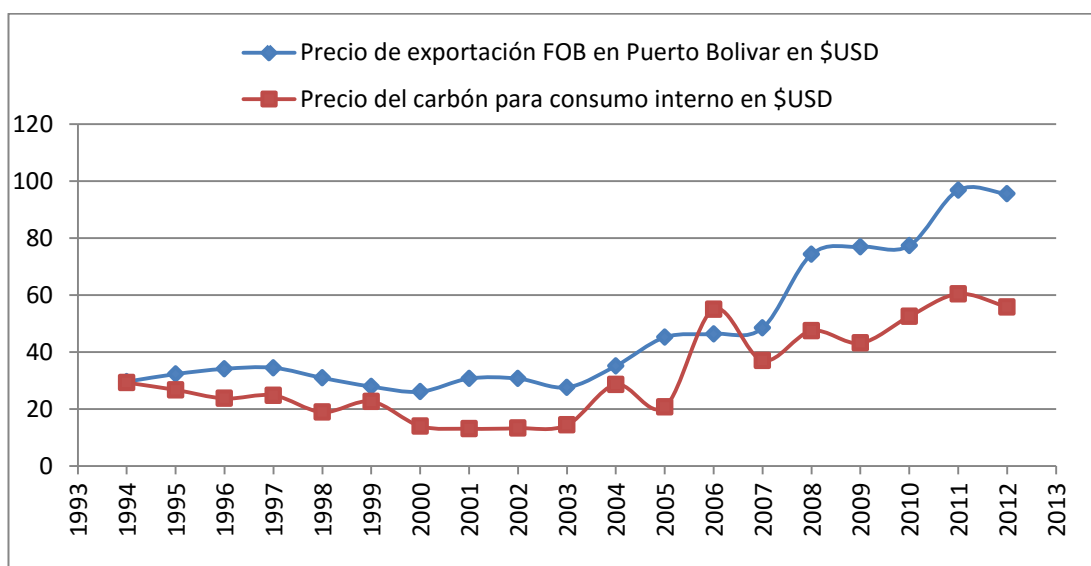
Gráfico 4.2. Evolución del precio del carbón FOB en Puerto Bolívar y el precio de compra reportado por termoeléctricas colombianas.



Fuente: Proyecciones de precios de los energéticos para generación eléctrica enero 2014 – diciembre 2037” UPME-Ministerio de minas y energía 2014.

¹⁵ Proyecciones de precios de los energéticos para generación eléctrica enero 2014 – diciembre 2037” UPME-Ministerio de minas y energía-2014

Gráfico 4.3. . Evolución del precio de exportación FOB en Puerto Bolívar y el precio del carbón para consumo interno reportados por el SIMCO (Sistema de Información Minero Colombiano).



FUENTE: SIMCO y elaboración propia.

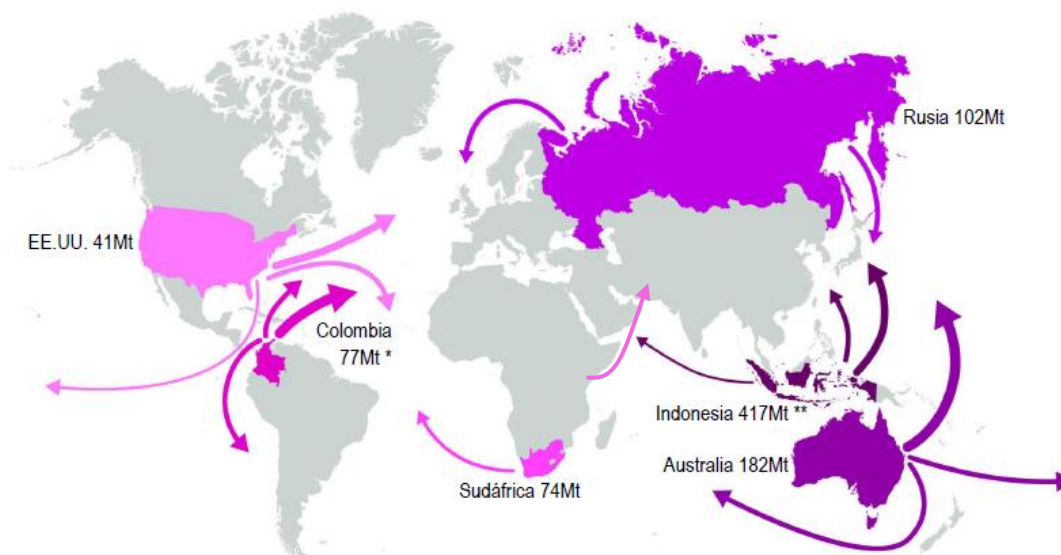
4.5. Mercado internacional del carbón Térmico

Existen dos principales mercados del carbón térmico, el Atlántico y el Pacífico. El mercado del Atlántico está compuesto por importadores como el Reino Unido, España y Alemania, los cuales son abastecidos principalmente por Colombia, Sudáfrica, Australia, Rusia y Estados Unidos. El mercado del Pacífico representa alrededor del 60% del mercado mundial de carbón térmico, está compuesto principalmente por Japón, Corea, India y China como importadores y Australia e Indonesia como exportadores.

Vale la pena destacar que el costo del transporte representa un alto porcentaje del precio y es por esto que los exportadores abastecen a los importadores más cercanos por su posición geográfica, sin embargo cualquier exportador puede cubrir las necesidades de un consumidor¹⁶.

¹⁶ “The coal resource world”, World coal institute,

Ilustración 4.4. Mercado internacional del Carbón, exportadores e importadores.



Fuente: El carbón colombiano ¿una oportunidad?, Cerrejón, minería responsable (Mayo, 2014)

El mercado internacional del carbón (en inglés “*World Coal Trade*”) se distingue por tener un tamaño pequeño en comparación con los mercados internos. Para el año 2013, el comercio exterior de carbón térmico tuvo un volumen de 1333,8 Mt¹⁷ equivalente a un 17% de la producción mundial.

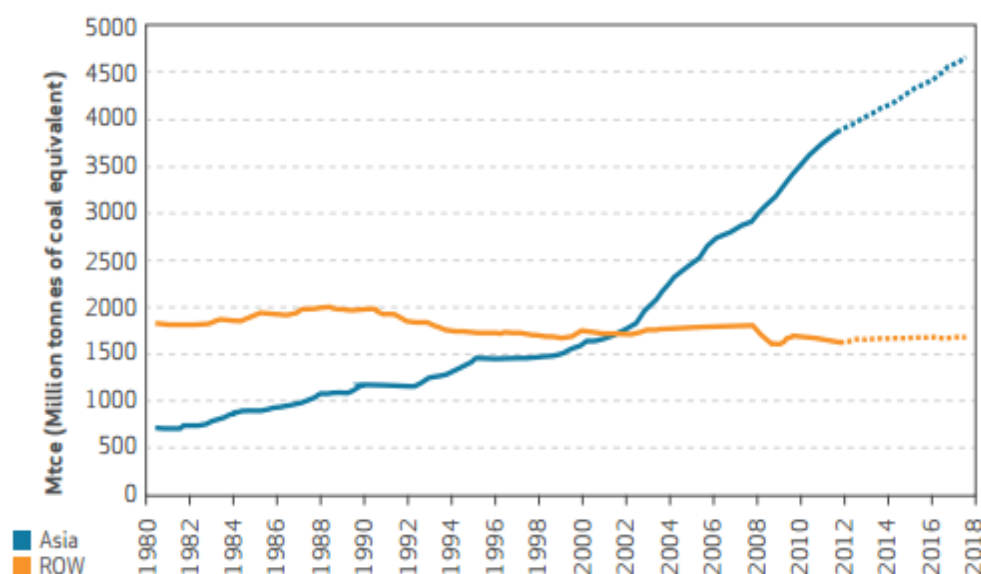
En este sentido, el mercado interno de China, de acuerdo con (Urbasos Ramos, 2011), tiene un gran impacto sobre el mercado internacional del carbón, debido a que representa el 47%¹⁸ de la producción a nivel mundial y un consumo del 50%¹⁹, siendo éste el mayor productor y consumidor de éste *commodity*, con la necesidad de importar grandes cantidades del mismo, hecho que lo convierte el mayor importador de carbón en el mundo. En este sentido, si se presentara un desbalance entre la oferta y demanda de dicho país se podría generar un aumento o disminución de importantes cantidades de carbón en el mercado mundial. Esto generaría un impacto sobre el nivel de precios en el mercado internacional por efecto de oferta y demanda. Sumado a esto, Estados Unidos siendo el segundo productor y consumidor mundial, además de ser el sexto exportador de carbón térmico, presenta también una influencia importante sobre este mercado.

¹⁷ “*Coal Facts 2014*” publicado por World Coal Association

¹⁸ World Coal Association

¹⁹ “*The coal resource world*”, World coal institute

Gráfico 4.4. Comportamiento del consumo del Carbón a nivel mundial.



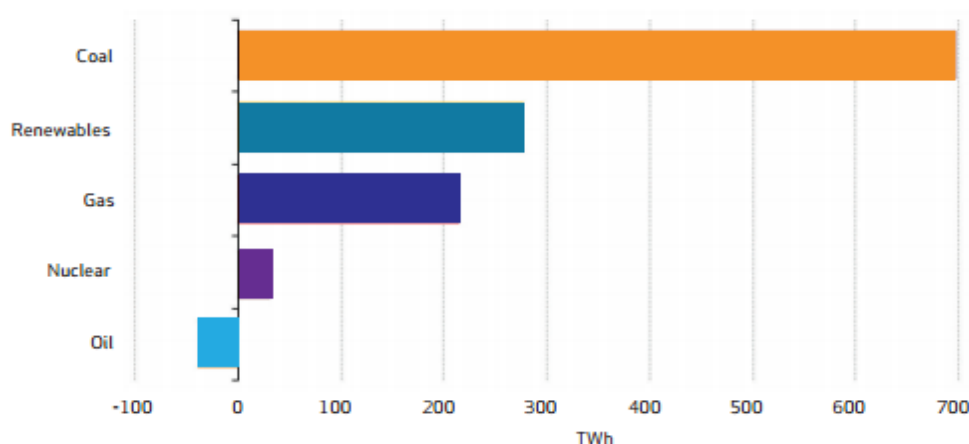
FUENTE: World coal association coal matters divestment & the future role of coal.

Además, el consumo de carbón está creciendo a un ritmo del 3%²⁰ anual. La anterior ilustración muestra que el comportamiento de la demanda asiática ha tenido un importante crecimiento.

Según *the International Energy Agency (IEA)* citado en el informe “*Coal matters-world coal association*”, se prevé que el carbón en este mercado crecerá en un 4,8% anual hasta 2035, lo que representa alrededor del 30% del crecimiento de la demanda mundial de carbón. Esto se debe al crecimiento de la industria Asiática, especialmente China, donde el 52% de la energía eléctrica se produce con carbón; la siguiente gráfica muestra las proyecciones de la generación de energía eléctrica.

²⁰ “*Coal matters*”, World Coal Association

Gráfico 4.5. Proyección de generación de energía en el sureste de Asia a partir de combustibles (2011-2015).



Fuente: Coal Matters world coal association

4.5.1. Contratación del carbón

Existen dos tipos de mercado en el ámbito internacional del carbón, el mercado Spot y el mercado a plazo. A continuación se explica brevemente cada uno.

4.5.1.1. Mercado *Spot*

Es el mercado con entrega física próxima, generalmente es usado por los consumidores de carbón para ajustar el posible desfase entre sus necesidades y la materia prima que ya han adquirido en el mercado a plazo (Las compañías consumidoras, como las termoeléctricas, suelen adquirir el carbón térmico en el mercado a plazo, con base en sus proyecciones de consumo). La compañía internacional Argus Media calcula los precios en los mercados tradicionales como el mercado *spot* para entrega física y mercado OTC (*Over the Counter*)²¹.

4.5.1.2. Mercado a Plazo

A este mercado acuden productores, consumidores e intermediarios (entidades financieras) con el fin de fijar la venta y/o compra del carbón para entrega y pago a futuro. La liquidación de los contratos se puede efectuar en

²¹ Tomado de: página web Argus Media, español.argusmedia.com/Coal/Argus-Coal-Daily

entrega física o en liquidación financiera. Cabe anotar que en su gran mayoría los intermediarios acuden a este mercado con fines especulativos.

Para efectos de cobertura frente al riesgo de mercado, existen los derivados, los cuales son instrumentos financieros cuyo precio depende del precio de un activo subyacente. El subyacente puede ser acciones, divisas, títulos de renta fija, tasas de interés, índices bursátiles, materias primas y energía, entre otros²². Los derivados se clasifican en dos categorías: estandarizados, los cuales son negociados en bolsa de valores y se caracterizan por no tener riesgo de *default* debido a las cámaras de compensación existentes en los mercados bursátiles (Cvitanic & Zapatero, 2004)²³. Entre los derivados estandarizados se encuentran los contratos de futuros, opciones, SWAPS, entre otros, los cuales se negocian en mercados regulados.

Es importante resaltar que miles de millones de toneladas de carbón se liquidan en contratos a través del ICE (Intercontinental Exchange) al año, lo que representa más del 50% de las transacciones en el mercado para la gestión de riesgo del precio del carbón²⁴. Otro mercado de instrumentos derivados de gran relevancia es el CME group (*Chicago Mercantile Exchange and Chicago Board of Trade*), el cual es el más grande y diverso del mundo operando más de 3000 millones de contratos por año.

Por otro lado, se encuentran los derivados no estandarizados, los cuales son negociados *Over the Counter (OTC)*, es decir de forma extrabursátil, por lo tanto existe riesgo de impago; en los mercados OTC, las contrapartes se ponen de acuerdo sobre las modalidades del contrato y cada contrato se ajusta a la medida del cliente. Los contratos forward son característicos de este tipo de mercado.

4.5.2. Lugar de entrega

En general, existen dos formas de entrega para el carbón térmico, cuyas posiciones geográficas sirven como referencia para el cálculo de los índices de precio; la diferencia entre una forma y la otra radica en el flete internacional.

- **FOB (*Free on Board*):** La entrega se realiza en el puerto de origen del carbón, en ese momento se traspasan los riesgos de pérdidas o daños al comprador. Existe un precio de referencia FOB por tonelada

²² Bolsa de Valores de Colombia BVC.

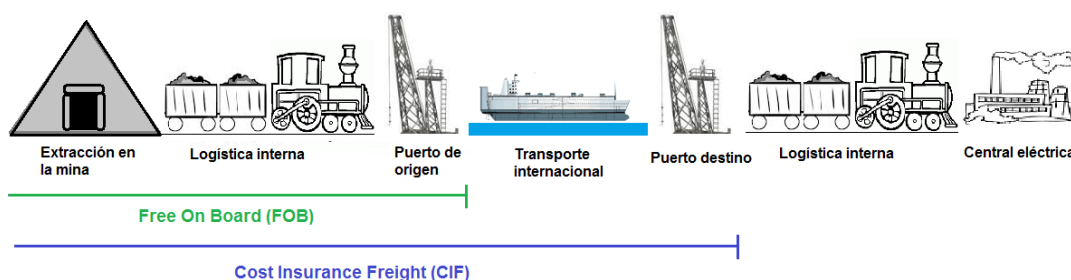
²³ Cvitanic y Zapatero

²⁴ Fuente: Global Coal

para cada uno de los principales puertos carboníferos en países exportadores.

- CIF ²⁵(*Cost, Insurance and Freight*): La entrega se realiza en el Puerto de destino. El vendedor incurre en los costos de flete y seguro internacional y el comprador se encarga de la logística interna en el país de destino. Existe un precio de referencia CIF por tonelada para cada uno de los principales puertos carboníferos en países importadores.

Ilustración 4.5. Descripción gráfica términos de negociación internacional (Incoterms).



Fuente: Elaboración propia.

Los principales puertos carboníferos en el mundo son Puerto Bolívar en Colombia, Richards Bay en Sudáfrica, el puerto de Australia, los tres puertos en Europa ARA (Ámsterdam, Róterdam, Antwerp), el puerto Newcastle en Australia, entre otros.

4.5.3. Precio internacional del carbón

Existen contratos estandarizados como base para la compra/venta del carbón. Dichos contratos contienen especificaciones acerca de la cantidad a negociar, la calidad del carbón (poder calorífico, cantidad de azufre), lugar de entrega (FOB, CIF), precio por tonelada, entre otros. Generalmente los contratos toman como referencia ciertos índices internacionales calculados por las compañías Argus Media e IHS McCloskey.

Entre los índices más importantes publicados por dichas compañías se encuentran el API 2, el cual se usa como referencia para el carbón importado en el noroeste de Europa, es decir, corresponde al precio CIF en ARA (Ámsterdam, Róterdam, Antwerp). Este es uno de los índices más utilizados en el mercado internacional y se calcula como un promedio de la evaluación Argus CIF Róterdam y del índice McCloskey de carbón térmico

²⁵ Incoterm

en el noroeste de Europa²⁶; este índice es publicado semanalmente los viernes.

Otro índice de gran importancia es el API 4, el cual constituye una referencia para el precio del carbón exportado desde Richards Bay en Sudáfrica, es decir es precio FOB para el carbón en el puerto de Richards Bay.

Los índices API 2 y API 4 se usan como referencia internacional de precios en los contratos físicos y OTC de carbón. Más del 90% de los derivados de carbón que se comercian en el mundo utilizan estos índices para fijar precios²⁷.

Otros índices publicados son:

- El API 6 como referencia del precio del carbón FOB en Newcastle, Australia.
- El API 10 como referencia del precio del carbón FOB en los puertos de Colombia. Este índice cubre las exportaciones de carbón térmico colombiano en el mercado del Atlántico desde los puertos ubicados en el caribe colombiano, por lo que se convierte en una referencia independiente y confiable, tanto para contratos físicos como para derivados. El contenido calórico para este índice es de 6,000 kcal/kg, con un mínimo de 5750 Kcal/kg, el cual representa la calidad y característica principal presente en la mayoría de las exportaciones de cargamentos de carbón colombiano. Este índice representa una oportunidad para los participantes en este mercado, brindando la posibilidad de negociar directamente con el índice API 2, o con la diferencia entre el API 2 y el API 10, la cual representa el flete de manera implícita entre los puertos del caribe colombiano y los puertos de ARA²⁸.

4.5.4. Transporte del carbón.

En la logística interna de los países, el carbón es transportado en trenes desde la mina hasta los puertos de embarque, con algunas excepciones donde es necesario transportar el carbón en volquetas por carretera. Una vez en el puerto, existen varias modalidades para cargar los buques, entre

^{26,23} Fuente: Argus Media

²⁸ Fuente: Argus Media

las que se encuentran el proceso de cargue por banda transportadora al buque granelero, o por descargue directamente de camiones y tracto mulas. En el país de destino, el buque es descargado y el carbón es llevado a las centrales vía férrea o por carretera.

4.5.5. Transporte internacional

El transporte internacional del carbón se hace vía marítima, desde los puertos de origen hasta el puerto de destino. El carbón se transporta en buques generalmente Capesize o Panamax, dependiendo de la capacidad de los puertos de origen/destino. Los buques Capesize tienen capacidad para transportar hasta 150.000 toneladas, mientras que un buque Panamax es capaz de transportar hasta 75.000 toneladas. En algunas ocasiones el carbón es transportado junto con otras materias primas en buques graneleros. Es relevante mencionar que el buque Panamax puede transitar por el canal de Panamá, mientras que el Capesize no puede realizarlo debido a sus grandes dimensiones.

4.5.6. Mercado de fletes

Existe también un mercado de derivados financieros para los fletes marítimos donde se negocian FFA's (*Forward Freight Agreement*), donde el flete es negociado como un *commodity*. Los FFA incluyen términos como la ruta acordada, el día mes y año de asentamiento, el tamaño del contrato y el tipo de contrato en el cual se liquidarán las diferencias.

Al igual que en el mercado del carbón, existen índices de referencia para fletes calculados por *The Baltic Exchange*, única empresa en el mundo que brinda información sobre el mercado marítimo para la negociación y liquidación de contratos físicos y derivados²⁹. Esto supone que existe un riesgo de mercado implícito en el precio del flete internacional tanto para exportadores como importadores, dependiendo del término de negociación (FOB o CIF). De acuerdo con (Urbasos Ramos, 2011), para un importador, comprar carbón FOB supone más flexibilidad, dada la posibilidad de negociar el flete a un precio más competitivo. De igual forma y dada la naturaleza del mercado de fletes, el importador podría calzar la posición efectuando la posición contraria si al vencimiento del mismo se ve más atractivo el precio spot del flete que el precio fijado en el contrato.

²⁹ Fuente: The Baltic Exchange

La compañía *The Baltic Exchange* calcula diferentes índices que sirven como referencia para el flete marítimo entre puerto origen y puerto destino. Para Colombia es el índice BCI7, el cual corresponde al flete entre Puerto Bolívar y Rotterdam.

4.5.7. Regalías

El artículo 332 de la constitución política de la República de Colombia dispone que el estado es propietario del subsuelo y de los recursos naturales no renovables, sin perjuicio de los derechos adquiridos y perfeccionados. Debido a que el carbón es un recurso natural no renovable, los productores que extraen carbón en tierras colombianas, deben pagar a la nación un precio por la explotación de esta materia prima, lo que genera una fuente de ingreso para el estado conocido como regalías.

La Agencia Nacional de Minería (ANM) mediante la resolución No 0855 del 2013, estableció la metodología para la fijación del precio base del carbón para la liquidación de regalías tanto para el consumo interno como externo. Esta metodología es utilizada por la Unidad de Planeación Minero energética (UPME), organización encargada de la estimación de dicho precio. Cabe anotar que la UPME genera una nueva resolución cada trimestre para el cálculo del precio base para la liquidación de regalías de carbón y otros minerales; en ocasiones, prorroga algunas resoluciones para el trimestre siguiente.

El precio base para la liquidación de regalías del carbón térmico de consumo interno se calcula mediante los precios promedios ponderados por volumen de los grandes consumidores (industrias térmicas, papeleras, cementeras, etc.) descontando los costos promedios ponderados de transporte correspondientes entre boca de mina y los centros de consumo, con el fin de obtener el precio del carbón térmico en boca de mina para cada zona del país. El periodo para la liquidación del precio son seis meses.

Entre las principales empresas que se toman como referentes para la estimación de este precio se encuentran las termoeléctricas Gensa, Emgesa, Termotasajero, Gecelca, las cementeras Cemex, Holcim, papeleras como Smurfit Cartón de Colombia, Propal- Carvajal, gremios como Fenalcarbón de Boyacá y diferentes cooperativas como Colcarbex en Norte de Santander, entre otros.³⁰

³⁰ Soporte técnico de la resolución por la cual se determinan los precios base de carbón para la liquidación de regalías iv trimestre de 2014.UPME

La resolución actual del precio en boca de mina para el carbón térmico de consumo interno es \$82.990 por tonelada (período comprendido entre Abril 1 de 2014 y Diciembre 30 de 2014).

El precio base para la liquidación de regalías del carbón térmico para exportación se estima con base en el promedio ponderado del precio FOB en puertos colombianos, descontando los costos logísticos (transporte, manejo y portuarios), es decir la diferencia entre el índice API2 y BCI7, tomando como periodo de liquidación un semestre.

La ecuación para el cálculo de las regalías según la resolución No 0855 es:

1. PRECIO FOB PROMEDIO PONDERADO EN PUERTOS Y/O FRONTERAS COLOMBIANAS (PP) PARA CARBÓN TÉRMICO DE EXPORTACIÓN.

$$PP = \left(\sum_{i=1}^n (API2_i - BCI7_i) * A_i \right) * B$$

Dónde:

i = Corresponde al mes de la observación.

n = Número de meses de la observación (un semestre).

API2_i = Para efectos de establecer el precio FOB, se realizará el promedio aritmético de los indicadores vigentes semanales en el mes (i).

BCI7_i = Para efectos de establecer el precio FOB, se realizará el promedio aritmético de los indicadores vigentes diarios en el mes (i) del semestre que se liquida.

A_i = Factor de Ponderación por volumen de carbón térmico de exportación del mes i del semestre que se liquida.

Ponderado por volumen de carbón térmico de exportación del mes i del semestre que se liquida: Se obtiene, para el mes i, dividiendo el volumen total de exportación del mes i entre el volumen total de exportación del semestre que se liquida.

B = Poder calorífico del carbón de la zona dividido por 11.370 BTU/Lb GAR (equivalente a 6.000 Kcal/kg NAR).

Poder calorífico del carbón de la zona: Promedio del poder calorífico de los carbones térmicos de la zona en unidades BTU/Lb, suministrado por la autoridad minera o quien haga sus veces³¹.

2. PRECIO BASE PARA LA LIQUIDACIÓN DEL CARBÓN TÉRMICO DE EXPORTACIÓN.

El precio base para la liquidación de regalías de carbón térmico que se dedica al mercado externo, PRCK (\$), se obtiene de la siguiente manera:

$$PRCK (\$) = PRCK (US\$) \times TRM$$

Donde:

PRCK (US\$): El precio base para la liquidación de regalías de carbón térmico que se dedica al mercado externo, para cada zona, expresado en dólares americanos por tonelada (US\$/ton), el cual se obtiene restando del Precio FOB promedio ponderado en puertos y/o fronteras colombianas (PP), los costos de transporte, manejo y portuarios (en caso de aplicar) para cada zona, y a las que se le aplicará la siguiente fórmula:

$$PRCK (US\$) = PP - Tk - Mk - Pk$$

Donde:

PRCK: Es el precio base para la liquidación de las regalías de carbón térmico para cada zona k, expresado en dólares americanos por tonelada (US\$/ton).

PP: Es el Precio FOB promedio ponderado en puertos y/o fronteras colombianas para carbón térmico de exportación (PP), expresado en dólares americanos por tonelada (US\$/ton).

Tk: Equivale a los costos de transporte de cada exportador de la zona k, tomados desde el borde o boca de mina hasta el puerto colombiano, expresados en dólares americanos por tonelada (US\$/ton), utilizando la TRM descrita en la presente cláusula.

Mk: Corresponde a los costos de manejo de cada exportador de la zona k expresados en dólares americanos por tonelada (US\$/ton), utilizando la TRM descrita en esta cláusula.

³¹ Fuente: SOPORTE TÉCNICO DE LA RESOLUCIÓN 870 DEL 26 DE DICIEMBRE DE 2014, POR LA CUAL SE DETERMINAN LOS PRECIOS BASE DE CARBÓN PARA LA LIQUIDACION DE REGALÍAS I TRIMESTRE DE 2015.UPME

P_k: Corresponde a los costos portuarios de cada exportador de la zona k, expresados en dólares americanos por tonelada (US\$/ton), utilizando la TRM descrita en la presente cláusula³².

Para el cálculo del precio de liquidación por zona, se escoge el máximo entre el PRC_k (\$) y el precio de liquidación para consumo interno.

Las zonas “k”, contempladas en las resoluciones para la liquidación son las siguientes:

Tabla 4.1. Zonas Carboníferas para liquidación de regalías de carbón térmico para exportación.

La Guajira	
Cesar	Sector el Descanso
	Sector de la Loma y el Boquerón
	Sector de la Jagua de Ibiricó
Zona Santanderes	
Zona Centro	

Fuente: Resolución 870 del 26 de diciembre de 2014

Cabe destacar que en este método para el cálculo del precio base de liquidación existe un rezago de tres meses de información, es decir, para liquidar el trimestre n_t , usan el semestre conformado por los trimestres n_{t-2} y n_{t-3} , para el cálculo del PP (Precio ponderado por niveles de exportación en dicho semestre y calidades por zona). Este semestre “rezagado”, es usado también para la tasa representativa del mercado, cuyo cálculo es el promedio de los valores diarios de la TRM en este semestre. En ese orden de ideas, la información se encuentra rezagada tres meses, hecho que la UPME atribuye a la disponibilidad de la información.

El esquema general para la liquidación total de regalías generadas por la explotación de carbón térmico para exportación en determinado trimestre es el siguiente:

$$\text{Regalías Trimestre} = \text{Exportación Carbón térmico} * \text{Prck} * \% \text{Regalías}$$

Donde, según la ANM, el porcentaje de regalías se define como:

“Ley 141 de 1994, Artículo 16. Artículo modificado por el artículo 16 de la Ley 756 de 2002. Establécese como regalía por la explotación de recursos

³² Fuente: SOPORTE TÉCNICO DE LA RESOLUCIÓN 870 DEL 26 DE DICIEMBRE DE 2014, POR LA CUAL SE DETERMINAN LOS PRECIOS BASE DE CARBÓN PARA LA LIQUIDACION DE REGALÍAS I TRIMESTRE DE 2015.UPME

*naturales no renovables de propiedad nacional, sobre el valor de la producción en boca o borde de mina o pozo, según corresponda, el porcentaje que resulte de aplicar la siguiente tabla”.*³³

Carbón

Explotaciones Mayores a 3MTon anuales 10%

Explotaciones menores a 3MTon anuales 5%

4.5.8. Análisis de los factores de riesgo financiero en la cadena de abastecimiento del carbón.

Con base en la caracterización presentada anteriormente se identifican tres factores de riesgo financiero al cual están expuestas las empresas que explotan las minas de carbón en Colombia, consumidores y el estado colombiano: el precio internacional del carbón, el precio internacional del flete y la tasa representativa del mercado.

4.5.8.1. Precio internacional del carbón

La fluctuación presente en los precios del carbón permite afirmar que existe riesgo de precio. Hasta el año 2011 se presentó una bonanza debido al alza del precio internacional del carbón, época en la cual productores de Boyacá exportaron a China e India y el valor de las compañías e inversiones en las empresas carboníferas ubicadas en la Costa Atlántica colombiana se incrementó. Sin embargo, para el año 2012 la bonanza llegó a su fin, presentando caídas hasta del 50% en el precio internacional, relacionadas con la caída de los precios de otras materias primas, la crisis económica del año 2012 en Europa y la relación oferta demanda.

Si se produce un desbalance entre la oferta y demanda de un país cuyo mercado interno sea representativo a nivel mundial se podría generar un aumento o disminución en el precio. Un ejemplo de esto se presentó en el año 2014 cuando un exceso de oferta por parte de China, el cual es el mayor productor y consumidor de carbón generó una caída en el precio del carbón a niveles que no se presentaban desde el año 2009. Lo anterior afectó negativamente a los exportadores colombianos ya que se presentó justo cuando se proyectaba un aumento de la producción según Morgan Stanley

³³ Fuente: Agencia Nacional de Minería / Preguntas Frecuentes-Proceso de Recaudo, Liquidación y Distribución de Regalías

citado en el artículo “Precio del carbón se mantendría bajo por exceso en la oferta” publicado por la revista Portafolio en Agosto del 2014.

Por otro lado, dado que las regalías que percibe el estado están afectadas por el precio internacional del carbón, están atadas al comportamiento del mismo. De ahí la importancia de analizar el precio spot del carbón que afecta tanto al mercado spot como al mercado a plazos.

4.5.8.2. Precio internacional del flete

Debido a que el precio del flete es tenido en cuenta para el cálculo del precio de liquidación para las regalías, este representa riesgo de mercado inminente, el cual afronta el estado. Por otro lado, los exportadores que firman contratos que impliquen entrega del carbón en el puerto de destino, deben asumir el costo del flete internacional, sujeto a las constantes variaciones del mismo a causa de oferta y demanda, ocupación de los puertos, entre otros factores.

4.5.8.3. Tasa representativa del mercado

Dado que los contratos son negociados en dólares estadounidenses, los exportadores perciben sus ingresos en moneda extranjera, además muchos de los costos de producción y transporte interno están en moneda local (pesos colombianos). Por una parte, las fluctuaciones en la tasa de cambio se pueden materializar en pérdidas o ganancias al enfrentar el cambio de divisas. Por otra parte, la tasa de cambio es un factor de riesgo para la liquidación del precio base para el cálculo de las regalías, ya que está incluida en la fórmula para dicho cálculo estipulado por la UPME.

5. MEDIDAS DE RIESGO FINANCIERO.

Una vez identificado y analizado los factores de riesgo al cual se encuentran expuestos no solo las empresas pertenecientes al sector carbonífero, sino también el estado colombiano, (dado que estos factores de riesgo se encuentran en el ingreso percibido por el concepto de regalías), es relevante cuantificar estos factores de riesgo. Por tal motivo se presenta un marco teórico de los principales métodos que se utilizan para cuantificar el riesgo y posteriormente se presenta una propuesta metodológica para la medición del riesgo de los factores identificados.

En la literatura se encuentran diferentes medidas de riesgo financiero que han sido adoptadas por diferentes entidades financieras, dada su práctica aplicación. Entre las medidas más representativas se encuentran el VaR y el ES.

5.1. Valor en riesgo (VaR)

El VaR empezó a utilizarse ampliamente después de la publicación del documento RiskMetrics Technical document en 1994 por la compañía JP Morgan. Se define como la máxima pérdida que se puede esperar producto de la exposición al riesgo de mercado, con un cierto nivel de confianza, en un periodo de tiempo determinado. Estadísticamente, el VaR se define como el α -ésimocuantil de la distribución de pérdidas de un activo (Mcneil, Frey, & Embrechts, 2005). De acuerdo con (Valencia, 2010) el VaR depende de la forma de la distribución que se utilice para ajustar los retornos logarítmicos de la serie de tiempo, es decir, si se realiza una estimación confiable de la distribución de pérdidas se obtiene un estimador confiable de la medida de riesgo.

La medición del VaR se divide en tres categorías: el VaR paramétrico, semi paramétrico y no paramétrico.

5.1.1. VaR Paramétrico

En principio el cálculo del VaR se estimaba asumiendo que la distribución de probabilidad de los retornos de un portafolio o activo financiero seguía una distribución normal. Sin embargo, es poco probable que el comportamiento de la serie de precios de un activo financiero o en su defecto el retorno

logarítmico de dichos activos sigan una distribución Gaussiana debido que generalmente presentan colas pesadas, es decir exceso de curtosis. Por tal motivo no siempre se obtiene un estimador confiable del VaR al utilizar una distribución Gaussiana.

Lo anterior está estrechamente relacionado con los hechos estilizados presentes en las series financieras. Siguiendo a (Alonso & Arcos, 2006a), los precios siguen un proceso de caminata aleatoria, tienen exceso de curtosis (colas pesadas) y los agrupamientos de volatilidad presentes en los rendimientos. Así, es necesaria la búsqueda de alternativas para el tratamiento de las series financieras y el cálculo de las medidas de riesgo financiero de mercado.

Una solución es utilizar la distribución t student debido a que tiene colas más pesadas que la distribución normal (Dowd, 2002a).

El VaR paramétrico para una distribución normal se define como:

$$VaR(1 - \alpha) = \mu + \sigma \Phi^{-1}(1 - \alpha)$$

“Donde ϕ denota la función de distribución normal estándar y $\phi^{-1}(\alpha)$ es el α -ésimocuantil de ϕ ”.

Siguiendo a (Mcneil et al., 2005), *“el VaR paramétrico para una distribución t-student se calcula de la siguiente manera”:*

$$VaR(1 - \alpha) = \mu + \sigma t_v^{-1}(\alpha),$$

“Donde t_v denota la función de distribución t-student estándar, el cual está disponible, junto con su inversa, en la mayoría de los paquetes estadísticos de los programas informáticos”(Mcneil et al., 2005.)

No obstante, de acuerdo con (Uribe & Ulloa, 2012)³⁴ se puede mejorar la estimación del VaR mediante la modelación de la media μ y la varianza σ^2 utilizando los modelos ARIMA y GARCH. Al VaR estimado de esta manera y suponiendo una distribución Gaussiana se le conoce como VaR Normal condicional y se define de la siguiente manera:

$$VaR_{(1-\alpha),t+1} = \mu_{t+1} + \sigma_{t+1} \Phi^{-1}(1 - \alpha)$$

³⁴ Algunas Lecciones Regulatorias de la Gran Recesión para la Cuantificación del Riesgo de Mercado. El Caso Colombiano en Contexto.

5.1.1.1. Modelos AR y MA

De acuerdo con (Christoffersen, 2012) el modelo más simple y utilizado para cumplir con el propósito anteriormente mencionado es el modelo auto regresivo de orden 1, AR(1) que se define como:

$$R_t = \Phi_0 + \Phi_1 R_{t-1} + \varepsilon_t$$

Donde $E[\varepsilon_t] = 0$, $Var[\varepsilon_t] = \sigma_\varepsilon^2$, además se asume que $R_{t-\tau}$ y $[\varepsilon_t]$ son independientes para todo $\tau > 0$. Teniendo en cuenta los anteriores supuestos la media condicional para un periodo siguiente es:

$$E(R_{t+1}|R_t) = E(\Phi_0 + \Phi_1 R_t + \varepsilon_{t+1}|R_t) = \Phi_0 + \Phi_1 R_t$$

En general el modelo autorregresivo de orden p, AR (p) se define como:

$$R_t = \Phi_0 + \Phi_1 R_{t-1} + \dots + \Phi_p R_{t-p} + \varepsilon_t$$

Otro modelo es el de media móvil MA (1) el cual está definido de la siguiente manera:

$$R_t = \Phi_0 + \varepsilon_t + \Phi_1 \varepsilon_{t-1}$$

Donde ε_t y ε_{t-1} son independientes y $E[\varepsilon_t] = 0$.

5.1.1.2. Modelos ARIMA

Es una combinación de los modelos anteriormente expuestos, se denominan modelos autorregresivos y de medias móviles ARIMA (p,q) donde p es el orden de la parte autorregresiva y q es el orden del componente de media móvil.

La letra “I” hace referencia al número de veces que se diferencia la serie hasta que sea estacionaria. Dicho de otro modo, al diferenciar la serie se obtienen los retornos; si esta diferenciación se hace una vez, entonces será integrada de orden uno.

Este modelo considera el supuesto de que la serie es estacionaria, lo cual, según (Christoffersen, 2012) se define como:

$$R_t = \Phi_0 + \sum_{i=1}^P \Phi_i R_{t-i} + \sum_{i=1}^q \Theta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t$$

Los modelos AR, MA o ARMA tienen como objetivo modelar el primer momento de la distribución de probabilidad, es decir, son útiles para el pronóstico de la media condicional. Posteriormente se utiliza dicha media de largo plazo para efectuar el cálculo del VaR. Sin embargo, después de modelar la media se debe modelar el segundo momento, el cual corresponde a la varianza.

5.1.1.3. Procesos de volatilidad condicional autorregresivo ARCH-GARCH

A pesar de que la serie de tiempo es estacionaria, hecho que supone que la varianza es constante en el tiempo, (dada la modelación del primer momento con un procedimiento de filtración o eliminación de tendencia, como el expuesto anteriormente), puede presentar oscilaciones a corto plazo, las cuales son recogidas en la varianza condicional, (Casas & Cepeda, 2008)³⁵. Por lo tanto se hace necesario modelar el segundo momento.

De acuerdo con (Engle, 1982), citado por (Melo & Becerra, 2005), los activos financieros pueden presentar periodos de alta volatilidad seguidos de una baja volatilidad o viceversa. A este hecho se le conoce como conglomeraciones de volatilidad (*Volatility clustering*).

Un modelo adecuado para modelar la volatilidad de una serie es el modelo autorregresivo condicionalmente heterocedástico (*ARCH* por sus siglas en inglés) propuesto por (Engle, 1982) citado por (Casas & Cepeda, 2008), el cual se define de la siguiente manera:

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2$$

Por otro lado, (Bollerslev, 1986) generalizó este modelo ARCH y propuso el modelo GARCH. Siguiendo a (Melo & Becerra, 2005), este modelo se ha convertido en el más utilizado para modelar la volatilidad. Se puede definir de la siguiente manera:

$$\alpha_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

³⁵ MODELOS ARCH, GARCH Y EGARCH: APLICACIONES A SERIES FINANCIERAS

“Donde $\alpha_0 > 0$; $\alpha_i \geq 0$; $\beta_j \geq 0$; $i = 1, \dots, q$; $j = 1, \dots, p$. Estas condiciones garantizan la no negatividad de la varianza condicional.”

5.1.2. VaR No Paramétrico

5.1.2.1. VaR mediante Simulación Histórica

El valor en riesgo mediante la simulación histórica supone que el retorno futuro de la serie se comporta como la distribución que han presentado los retornos logarítmicos de dicha serie, es decir, no supone una distribución *a priori* como se realiza en los otros métodos, sin embargo, no tiene en cuenta la volatilidad condicional, siguiendo a (Alonso & Arcos, 2006b)³⁶.

Una de las ventajas que presenta la simulación histórica es que es de fácil estimación. Para calcular el VaR de esta forma se deben calcular los retornos logarítmicos de cada serie, organizarla de menor a mayor y calcular el percentil $(1-\alpha)$ de dicha distribución.

5.1.3. VaR Semi-paramétrico.

5.1.3.1. VaR mediante Simulación Monte Carlo (SMC)

Mediante la simulación Monte Carlo se obtienen números aleatorios a partir de una distribución definida previamente. Este método ha sido ampliamente utilizado para dar solución a diferentes problemas que tienen una naturaleza estocástica. Según lo presentado por (Mcneil et al., 2005), el algoritmo para la estimación del VaR con esta metodología es:

1. Se define la distribución y los parámetros que requieren dicha función sobre la cual se realiza la simulación. Se escoge el número de iteraciones n a simular.
2. Se realiza n iteraciones simulación de acuerdo a la distribución previamente escogida.
3. Se obtienen un conjunto de posibles retornos que se pueden generar para el próximo periodo.

³⁶ Valor en Riesgo: Evaluación del desempeño de diferentes metodologías para 7 países latinoamericanos Por: Julio Cesar Alonso Mauricio Alejandro Arcos

4. Finalmente se estima el α -ésimocuantil de la función de pérdidas, el cual corresponde al VaR.

Es posible mejorar la estimación de las medidas de riesgo realizando previamente una modelación de la media y la varianza mediante los modelos ARIMA-GARCH.

En la literatura, esta metodología se conoce como Simulación Monte Carlo Estructurado. Según (Vergara C. & Maya O., 2009)³⁷ esta metodología es la más completa y robusta para la medición del valor en riesgo (VaR) en comparación con métodos paramétricos o de simulación histórica. Dichos autores argumentan que siguiendo esta metodología se logra capturar el efecto de colas pesadas de las series. En síntesis, en esta metodología se parte de la identificación del proceso estocástico que sigue cada una de las variables, obteniendo así una mejor cuantificación del riesgo.

5.1.4. Críticas del VaR

A pesar de las bondades que tiene el VaR como la sencillez de la aplicación, la facilidad en la interpretación, además de que resume todas las posibles fuentes de riesgo existentes de un activo financiero o portafolio en un solo número expresado en unidades monetarias, de acuerdo con (Melo & Becerra, 2005); el VaR no cumple con ciertas propiedades que según (Artzner, et al, 1999), debe cumplir un buen estimador del riesgo.

“Considere una medida de riesgo $\rho : V \rightarrow R$ donde V es un conjunto de variables aleatorias que se encuentran en un espacio de probabilidad (Ω, A, P) tal que $E[X^-] < \infty$ para todo $x \in V$, entonces la medida de riesgo ρ tiene que cumplir con las siguientes propiedades para que sea coherente:

- (i) *Monotonicidad: $Y \leq X$, entonces $\rho(Y) \leq \rho(X)$; Para todo $X \in V$, $X \geq 0$.*
- (ii) *Subaditividad: $\rho(X + Y) \leq \rho(X) + \rho(Y)$; Para todo $X, Y, X + Y \in V$.*
- (iii) *Homogeneidad positiva: $\rho(hX) = h \rho(X)$; Para todo $X \in V$, $h > 0$, $hX \in V$.*
- (iv) *Invariante ante traslaciones: $\rho(X + a) = \rho(X) - a$. Para todo $X \in V$ y para todo $a \in R$.”*

El VaR ha sido criticado por no cumplir con la propiedad de la Subaditividad. Lo anterior significa que en las estimaciones del VaR, el riesgo de un portafolio puede ser mayor que la suma de los riesgos individuales de los

³⁷ Monte Carlo estructurado. Estimación del valor en riesgo en un portafolio accionario en Colombia.

componentes de dicho portafolio (Acerbi & Tasche, 2002)³⁸, es decir que generalmente el VaR penaliza la diversificación cuando en la teoría financiera, la diversificación disminuye el riesgo.

5.2. Expected Shortfall (ES)-Pérdida en las colas.

El Expected Shortfall fue desarrollado para cubrir algunas falencias que presenta el VaR, como la subestimación del riesgo. El ES estima la pérdida máxima si un evento extremo ocurre; se puede estimar calculando el promedio de los valores que exceden el VaR con un nivel de confianza dado (Melo & Becerra, 2005). Por tal razón, es una medida coherente de riesgo, debido a que abarca la cola de la distribución. Además cumple con la propiedad subaditividad (Acerbi & Tasche, 2002)³⁹.

Otra ventaja del ES se presenta cuando se tienen variables aleatorias que siguen una distribución discontinua, en dicho caso, un cambio en el nivel de confianza no genera un cambio significativo en la estimación de ES, en contraste con otras medidas de riesgo como el VaR, el cual es más sensible ante pequeños cambios en el nivel de confianza (Acerbi & Tasche, 2002)

En ese orden de ideas el Expected Shortfall se define como el promedio de 100 (1- α) % de los peores casos (Dowd, 2002b).

$$ES_{\alpha} = \frac{1}{1-\alpha} \int_{\alpha}^1 q_p dp^{40}$$

Si la distribución es discreta el ES se define como:

$$ES_{\alpha} = \frac{1}{1-\alpha} \sum_{p=0}^{\alpha} \left[\begin{matrix} \text{Pérdida} \\ \text{máxima } p \end{matrix} \right] * [\text{probabilidad de ocurrencia de la pérdida máxima } p]$$

³⁸ On the coherence of Expected Shortfall

³⁹ On the coherence of Expected Shortfall

⁴⁰ Dowd 2002) Measuring market risk

6. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS SERIES

Para el análisis de los datos, el presente estudio comprende un período de observaciones diarias, desde el 29 de marzo de 2010 hasta el 22 de abril de 2015, para las series de precios API2, BCI7, y TRM. Los índices API2 y BCI7 cotizan en el mercado europeo, el índice API2, que es calculado por la compañía Argus Media, y el BCI7 es publicado por The Baltic Exchange⁴¹. Dichas series fueron obtenidas mediante la terminal Bloomberg del punto de Bolsa de la Universidad Icesi en Cali. La Tasa Representativa del Mercado fue obtenida en la página web del Banco de la República de Colombia.

Según (Gujarati & Porter, 2010), las series de precios como las tasas de cambio, precios de acciones, entre otros, siguen una caminata aleatoria (Alonso & Arcos, 2006a) , es decir son no estacionarias. Si una serie de tiempo es estacionaria, su media, su varianza y su autocovarianza (en los diferentes rezagos) permanecen iguales sin importar el momento en el cual se midan. Por lo anterior, se realiza el test de raíces unitarias desarrollado por Dickey- Fuller en 1979. Esta prueba tiene como hipótesis nula la presencia de una raíz unitaria. Si no se rechaza la hipótesis nula, se puede afirmar que la serie es no estacionaria.

La prueba se aplica a la series de precios API2, BCI7 y TRM mediante el software *Eviews*. Se obtiene como resultado que ninguna de ellas es estacionaria (ver tabla 6.1). Por lo tanto se diferencia la serie, es decir se obtienen los retornos logarítmicos. Posteriormente se realiza el test de raíces unitarias a los retornos de cada serie, arrojando como resultado el rechazo de la hipótesis nula, es decir los retornos logarítmicos son estacionarios (ver tabla 6.2). Para efectos prácticos se muestran los resultados obtenidos para la serie API2.

⁴¹ Proveedor de información en los mercados de transporte marítimo, necesarios para la negociación de derivados cuyo subyacente es el precio de los fletes

Tabla 6.1. Test de raíces unitarias API2

Null Hypothesis: API2EX has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 2 (Automatic - based on SIC, maxlag=22)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-0.688065	0.8477
Test critical values:	1% level		-3.435093	
	5% level		-2.863522	
	10% level		-2.567875	
*Mackinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(API2EX)				
Method: Least Squares				
Date: 05/04/15 Time: 07:02				
Sample (adjusted): 4/01/2010 4/22/2015				
Included observations: 1320 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
API2EX(-1)	-0.001209	0.001758	-0.688065	0.4915
D(API2EX(-1))	0.098883	0.027486	3.597589	0.0003
D(API2EX(-2))	-0.078502	0.027492	-2.855472	0.0044
C	0.098210	0.164076	0.598562	0.5496
R-squared	0.014874	Mean dependent var		-0.012652
Adjusted R-squared	0.012628	S.D. dependent var		1.204569
S.E. of regression	1.196939	Akaike info criterion		3.200437
Sum squared resid	1885.384	Schwarz criterion		3.216151
Log likelihood	-2108.289	Hannan-Quinn criter.		3.206329
F-statistic	6.623235	Durbin-Watson stat		2.001768
Prob(F-statistic)	0.000193			

Fuente: Elaboración propia, software *Eviews*

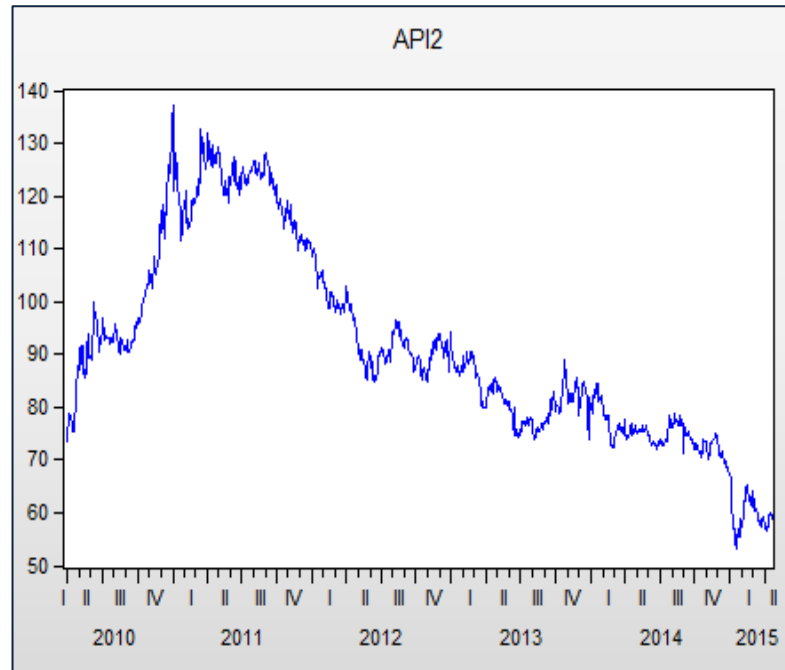
Tabla 6.2. Test de raíces unitarias retorno logarítmico del API2

Null Hypothesis: RETAPI2EX has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=22)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-33.85105	0.0000
Test critical values:	1% level		-3.435089	
	5% level		-2.863520	
	10% level		-2.567874	
*Mackinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(RETAPI2EX)				
Method: Least Squares				
Date: 05/04/15 Time: 07:07				
Sample (adjusted): 3/31/2010 4/22/2015				
Included observations: 1321 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
RETAPI2EX(-1)	-0.929818	0.027468	-33.85105	0.0000
C	-0.000165	0.000358	-0.461347	0.6446
R-squared	0.464886	Mean dependent var		-1.16E-05
Adjusted R-squared	0.464480	S.D. dependent var		0.017767
S.E. of regression	0.013002	Akaike info criterion		-5.845978
Sum squared resid	0.222965	Schwarz criterion		-5.838126
Log likelihood	3863.269	Hannan-Quinn criter.		-5.843035
F-statistic	1145.894	Durbin-Watson stat		1.993188
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fuente: elaboración propia, software *Eviews*

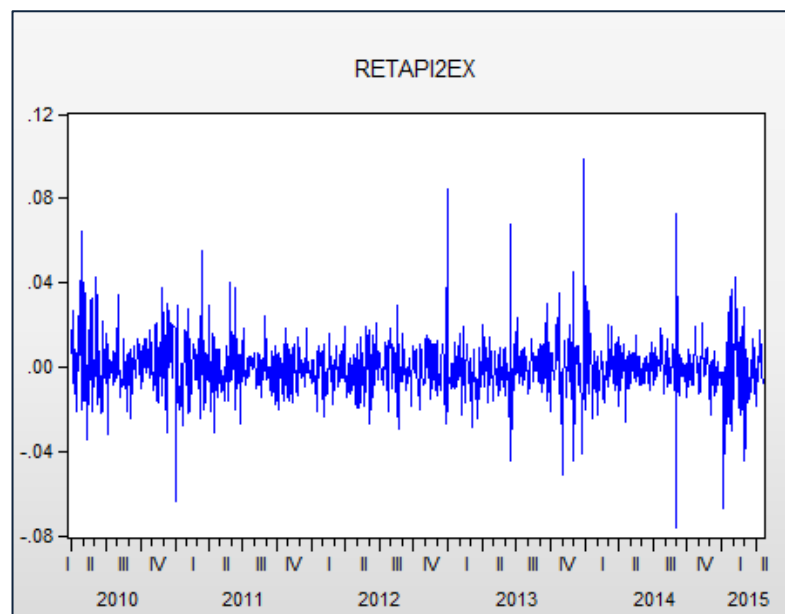
A continuación se presentan las gráficas de las series API2, BCI7 y TRM y los retornos logarítmicos de dichas series.

Gráfico 6.1. Serie de Precio API 2.



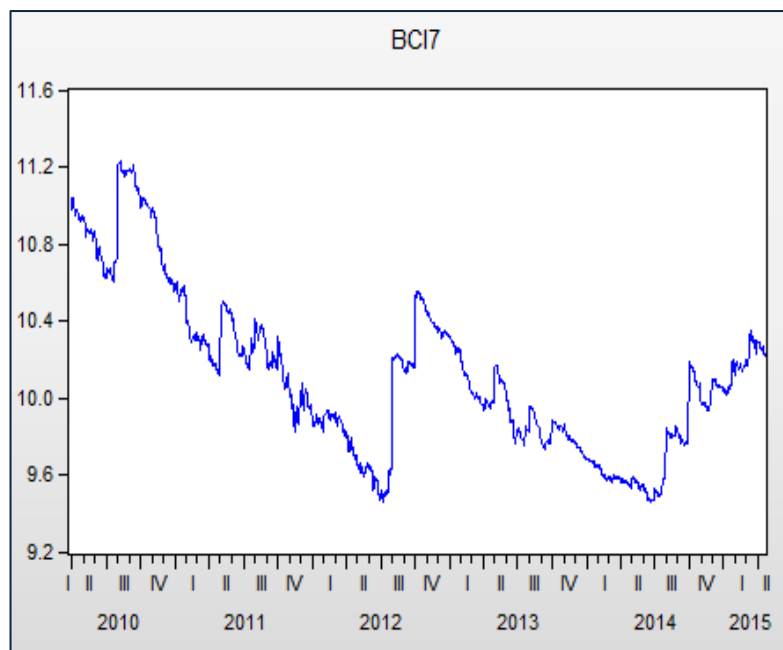
Fuente: Elaboración propia, software *Eviews*.

Gráfico 6.2. Serie retornos logarítmicos API2.



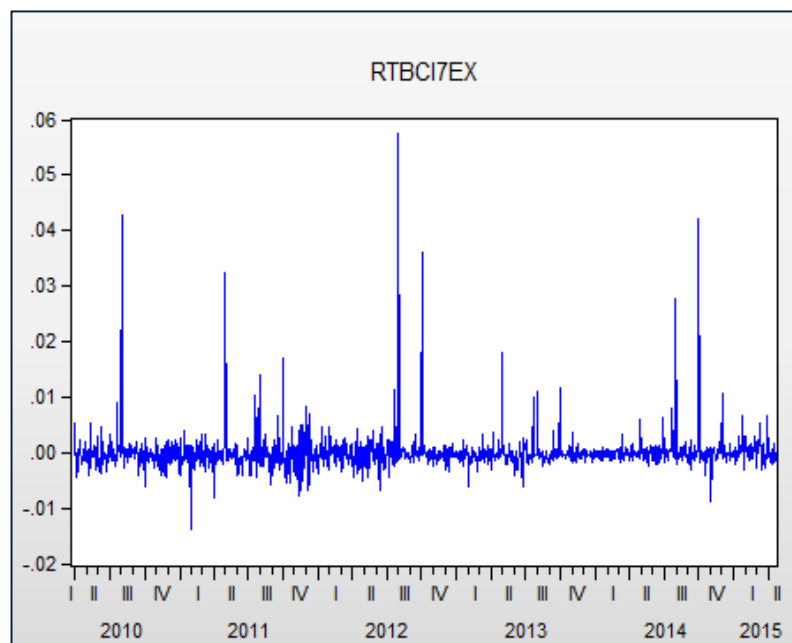
Fuente: Elaboración propia, software *Eviews*.

Gráfico 6.3. Serie de Precio BCI7.



Fuente: Elaboración propia, software *Eviews*.

Gráfico 6.4. Serie retornos logarítmicos BCI7



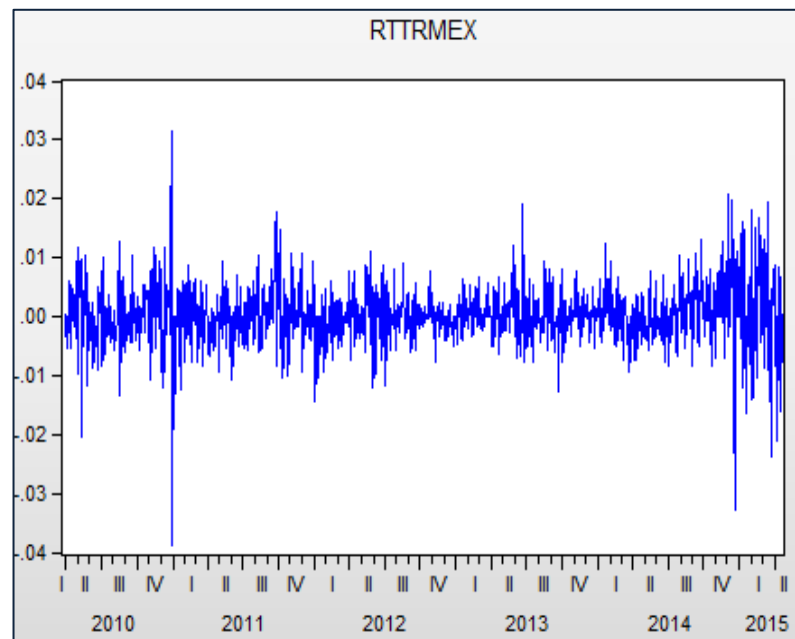
Fuente: Elaboración propia, software *Eviews*.

Gráfico 6.5. Serie de Precio TRM.



Fuente: Elaboración propia, software *Eviews*.

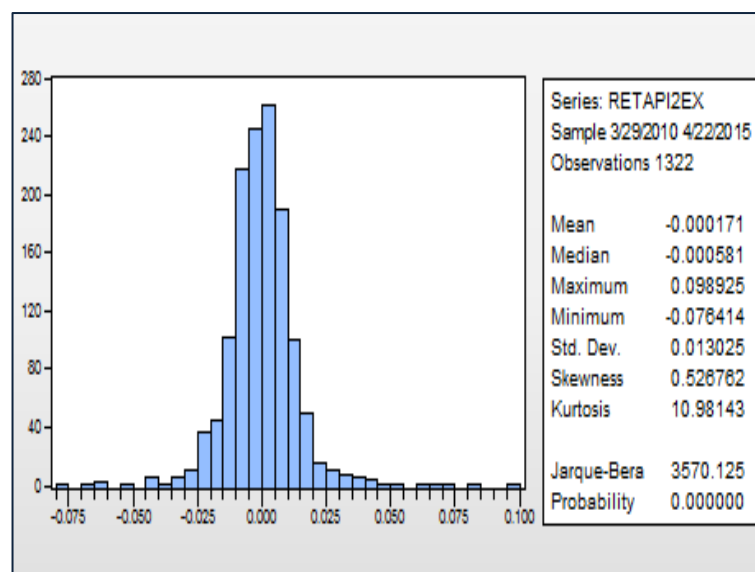
Gráfico 6.6. Serie retornos logarítmicos TRM.



Fuente: Elaboración propia, software *Eviews*.

Posteriormente se realiza un análisis descriptivo de las series de los retornos logarítmicos, con un test de normalidad mediante la prueba de (Jarque & Bera, 1987). En la cual se rechaza la hipótesis nula de normalidad tanto para las series como para los retornos logarítmicos. Para efectos prácticos se presentan los resultados obtenidos para el precio de carbón API2.

Gráfico 6.7. Estadística descriptiva de los retornos



Fuente: Elaboración propia, software Eviews.

Así mismo, se aplicó la metodología de Box-Jenkins (1976), la cual consta de tres etapas:

1. Identificación de características de no estacionariedad, mediante la examinación visual del correlograma que contiene la función de autocorrelación simple (AFC) y la función de autocorrelación parcial (AFPC). Se realiza para identificar el patrón de autocorrelación, el cual hace referencia a la dependencia lineal del valor actual de una variable y su valor pasado, perteneciente a una misma serie de tiempo (Christoffersen, 2012).

Gráfico 6.8. Correlograma retornos logarítmicos API2.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 0.070	0.070	6.5222	0.011
		2 -0.040	-0.045	8.6097	0.014
		3 0.003	0.009	8.6180	0.035
		4 -0.003	-0.006	8.6306	0.071
		5 -0.015	-0.014	8.9202	0.112
		6 -0.017	-0.016	9.3135	0.157
		7 0.003	0.004	9.3220	0.230
		8 -0.024	-0.026	10.066	0.260
		9 -0.039	-0.036	12.133	0.206
		10 -0.015	-0.012	12.437	0.257
		11 0.041	0.040	14.692	0.197
		12 0.018	0.011	15.132	0.234
		13 0.017	0.018	15.537	0.275
		14 0.027	0.024	16.512	0.283
		15 0.013	0.010	16.756	0.334
		16 -0.028	-0.028	17.837	0.333
		17 -0.044	-0.040	20.447	0.252
		18 0.005	0.008	20.483	0.306
		19 0.017	0.015	20.879	0.344
		20 0.049	0.053	24.128	0.237

Fuente: Elaboración propia, software Eviews.

Como se puede observar en el gráfico 6.8 se presenta autocorrelación en los primeros rezagos. Por esto, se realiza la modelación del primer momento de la distribución (Media) con modelos AR, MA o ARMA.

En la segunda etapa de la metodología de Box-Jenkins, se realiza una estimación de los modelos tentativos mediante la limpieza de los residuales. En este punto se decide qué modelo se ajusta mejor dado el principio de la Parsimonia.⁴²

1. En la tercera etapa se realiza un diagnóstico del comportamiento del modelo seleccionado y las correlaciones, mediante el estadístico Q, desarrollado por (Box & Pierce, 1970), donde la hipótesis nula se define como el hecho de que la correlación en determinado rezago es nula o cero.

Tabla 6.3. Modelos ARMA para los tres factores de riesgo

Serie	Modelo	Coefficiente	Probabilidad	Schwarz
Retornos API2	ARMA(1,1)	-0,402861	0,1338	-5,834535
		0,47862	0,0634	
	AR(1)	0,070182	0,0107	-5,838126
	MA(1)	0,076748	0,0052	-5,839136
Retornos BCI7	AR(1)	0,044293	0,1076	-8,494343
	AR(7)	0,078632	0,0043	-8,497485
	ARMA(1,1)	-0,367696	0,4222	-8,489436
		0,409736	0,3619	
	ARMA(7,1)	0,077469	0,0049	-8,493788
		0,42498	0,1326	
Retornos TRM	AR(1)	0,21269	0,0000	-7,67762
	ARMA(1,1)	-0,135121	0,2194	-7,68111
		0,371096	0,0003	
	ARMA(1,2)	0,231993	0,0000	-7,681587
		-0,095022	0,0000	
	ARMA(9,1)	0,082459	0,0030	-7,683466
		0,239434	0,0000	

Fuente: Elaboración propia.

⁴² Cuando dos teorías o hipótesis se encuentra en igualdad de condiciones, es más probable que la más simple sea la correcta.

De acuerdo con la información anterior y con la inspección que se realiza al correlograma de cada uno de los modelos, se escoge el modelo que mejor se ajusta a cada factor de riesgo. En este caso, para el API2, BCI7, TRM, se seleccionan los modelos MA(1), ARMA(7,1), ARMA(9,1) respectivamente. Posteriormente, se realiza el test ARCH de Heterocedasticidad, con el propósito de conocer si la serie de retornos requiere de la modelación de la varianza. Se rechaza la hipótesis nula de homocedasticidad para todas las series analizadas, por tal motivo se aplica el modelo GARCH (1,1), que de acuerdo con la literatura en economía financiera presenta el mejor desempeño sin utilizar una gran cantidad de grados de libertad.

Gráfico 6.9. Correlograma de Residuales estandarizados API2

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 0.001	0.001	0.0014	
		2 -0.007	-0.007	0.0670	0.796
		3 -0.012	-0.012	0.2573	0.879
		4 -0.027	-0.027	1.1979	0.754
		5 0.048	0.048	4.2460	0.374
		6 -0.026	-0.026	5.1209	0.401
		7 -0.008	-0.008	5.1986	0.519
		8 -0.014	-0.014	5.4566	0.604
		9 -0.018	-0.016	5.8708	0.662
		10 0.005	0.001	5.8991	0.750
		11 -0.019	-0.017	6.3654	0.784
		12 0.011	0.010	6.5367	0.835
		13 -0.019	-0.019	6.9974	0.858
		14 -0.015	-0.014	7.2910	0.887
		15 -0.012	-0.014	7.4871	0.914
		16 0.008	0.010	7.5777	0.940
		17 0.029	0.025	8.6794	0.926
		18 -0.003	-0.002	8.6906	0.949
		19 -0.022	-0.022	9.3364	0.951
		20 0.024	0.025	10.118	0.950
		21 0.003	0.002	10.129	0.966

Fuente: Elaboración propia, software *Eviews*.

Gráfico 6.10. Correlograma de Residuales estandarizados TRM

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 0.017	0.017	0.3837	
		2 0.056	0.056	4.5311	
		3 -0.021	-0.023	5.1365	0.023
		4 0.000	-0.002	5.1365	0.077
		5 -0.004	-0.001	5.1530	0.161
		6 -0.033	-0.033	6.5876	0.159
		7 0.020	0.022	7.1342	0.211
		8 -0.020	-0.017	7.6726	0.263
		9 0.000	-0.003	7.6728	0.362
		10 -0.006	-0.003	7.7207	0.461
		11 -0.022	-0.023	8.3480	0.499
		12 -0.018	-0.018	8.7795	0.553
		13 0.000	0.005	8.7797	0.642
		14 0.013	0.012	8.9925	0.704
		15 -0.030	-0.031	10.166	0.680
		16 -0.017	-0.018	10.561	0.720
		17 0.039	0.042	12.571	0.635
		18 0.011	0.010	12.727	0.693
		19 -0.050	-0.056	16.056	0.520
		20 -0.019	-0.017	16.545	0.555
		21 0.020	0.024	17.055	0.586
		22 -0.012	-0.013	17.236	0.638
		23 0.014	0.013	17.506	0.680

Fuente: Elaboración propia, software *Eviews*.

Gráfico 6.11. Correlograma de Residuales estandarizados BCI7

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1	-0.005	-0.005	0.0290
		2	-0.006	-0.006	0.0796
		3	-0.005	-0.005	0.1095
		4	-0.007	-0.007	0.1692
		5	-0.007	-0.008	0.2429
		6	-0.006	-0.006	0.2916
		7	0.028	0.027	1.2963
		8	0.001	0.001	1.2989
		9	-0.007	-0.007	1.3629
		10	-0.007	-0.007	1.4255
		11	-0.006	-0.006	1.4795
		12	-0.006	-0.005	1.5216
		13	-0.006	-0.006	1.5717
		14	-0.006	-0.007	1.6180
		15	-0.006	-0.007	1.6670
		16	-0.007	-0.007	1.7331
		17	-0.005	-0.006	1.7734
		18	-0.005	-0.005	1.8016
		19	-0.007	-0.007	1.8602
		20	-0.006	-0.006	1.9102
		21	-0.005	-0.006	1.9481

Fuente: Elaboración propia, software *Eviews*.

Finalmente se realiza el pronóstico de la media y la varianza mediante el modelo ARMA-GARCH seleccionado anteriormente, así se obtiene la media y la varianza de largo plazo.

En efecto, se obtuvo la media y la varianza de largo plazo para los tres factores de riesgo estudiados:

Tabla 6.4. Media y Varianza de largo plazo para cada factor de riesgo financiero.

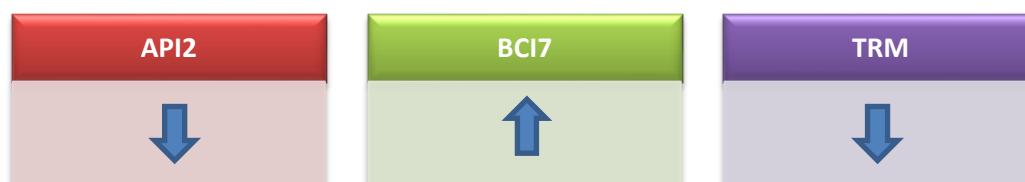
API2		BCI7		TRM	
Media	Varianza	Media	Varianza	Media	Varianza
6,43E-07	2,01E-04	-1,69E-04	1,50E-05	7,58E-05	5,46E-03

Fuente: Elaboración propia, software *Eviews*.

7. MEDICIÓN DE RIESGO FINANCIERO

Para la estimación de las dos medidas de riesgo, es clave tener en cuenta en que situaciones se generarían pérdidas, o se disminuiría el ingreso por concepto de regalías de carbón térmico de exportación en relación con los tres factores de riesgo identificados. Estos eventos extremos (negativos y/o adversos) se generan cuando el precio del carbón (API2) baja, el precio del flete (BCI7) sube y la TRM baja (por encontrarse en la posición de exportadores).

Ilustración 7.1. Situaciones adversas que generan disminuciones en el ingreso por Regalías de carbón térmico de exportación

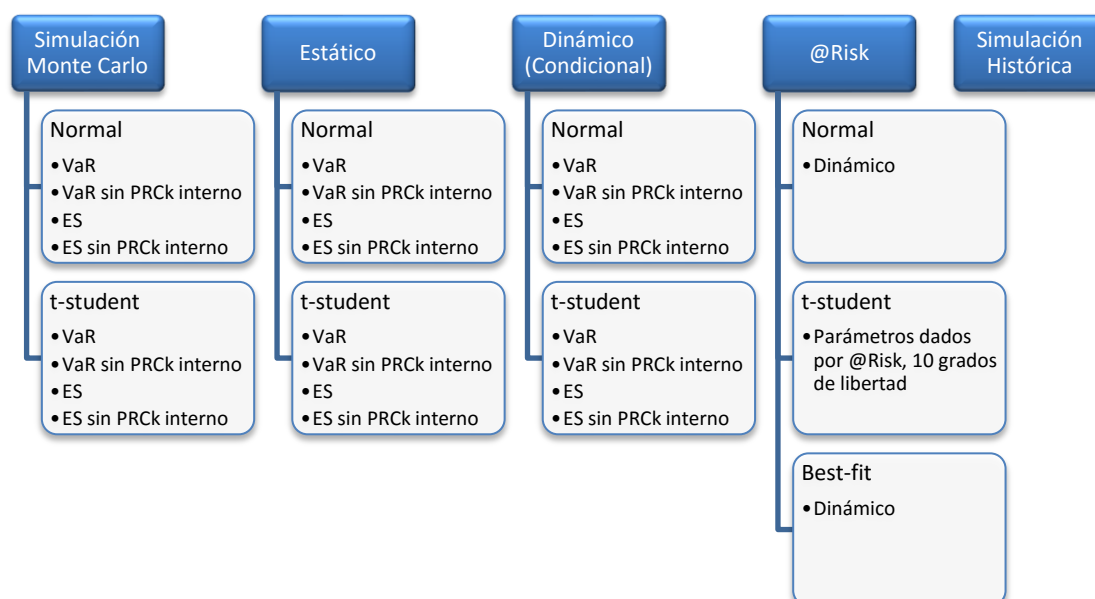


Fuente: Elaboración propia.

7.1. Propuesta de las metodologías para el cálculo del VaR y ES

En esta investigación se estima el VaR y el ES por medio de diferentes metodologías:

Ilustración 7.2. Metodologías empleadas en el cálculo del VaR y el ES



El propósito de las siguientes metodologías es calcular un VaR y el ES para cada factor de riesgo en los meses de Mayo y Junio de 2015, y de forma consolidada para las regalías totales de carbón térmico de exportación para el trimestre IV de 2015.

Este período se escoge ya que se tiene información de los tres factores de riesgo hasta Abril 22 de 2015. Además, según la resolución 870 del 26 de Diciembre de 2014, para el cálculo del precio base de liquidación para las regalías del IV trimestre, se utiliza el promedio semestral de la TRM, y los promedios mensuales de los indicadores API2 y BCI7. En este caso, el periodo a considerar es Enero-Junio de 2015. Por tanto, se tiene incertidumbre de los meses de Mayo y Junio para los tres factores de riesgo.

Así, se estima el VaR y el ES para dichos meses, los cuales corresponden, en este caso, al precio mas bajo que se podría esperar de acuerdo con el comportamiento de la distribución del precio del carbón API2 y la TRM y el precio mas alto que se puede registrar del flete marítimo BCI7⁴³, para obtener el VaR y el ES de la regalías por explotación de carbón térmico de exportación para el IV trimestre de 2015. Por efectos prácticos se nombra este último como el VaR consolidado y el ES consolidado.

Se realiza un estimado de la producción mensual de carbón térmico y el nivel de exportaciones, con base en la información presente en la base de datos del SIMCO⁴⁴ y la UPME⁴⁵. Posteriormente se estiman las regalías trimestrales desde el año 2010 hasta el año 2015.

Para tener una mejor ilustración acerca de la razón por la cual se escoge este periodo de estimación, se puede observar la la ilustración 7.3 .

⁴³ Debido a la naturaleza de la fórmula empleada para el cálculo del precio base de liquidación, los eventos extremos en los cuáles la liquidación podría llegar a afrontar los casos más pesimistas serían aquellos donde el índice API2 y la TRM bajen y el índice BCI7 suba.

⁴⁴ Sistema de Información Minero Colombiano

⁴⁵ Unidad de Planeación Minero Energética

Ilustración 7.3 Metodología para el cálculo del precio base para la liquidación de regalías para carbón térmico de exportación.

Liquidación de	año	2014												2015											
Regalías año 2015	mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Trimestre I de 2015					4	5	6	7	8	9				1	2	3									
Trimestre II de 2015								7	8	9	10	11	12				4	5	6						
Trimestre III de 2015											10	11	12	1	2	3				7	8	9			
Trimestre IV de 2015														1	2	3	4	5	6				10	11	12

Fuente: Elaboración propia

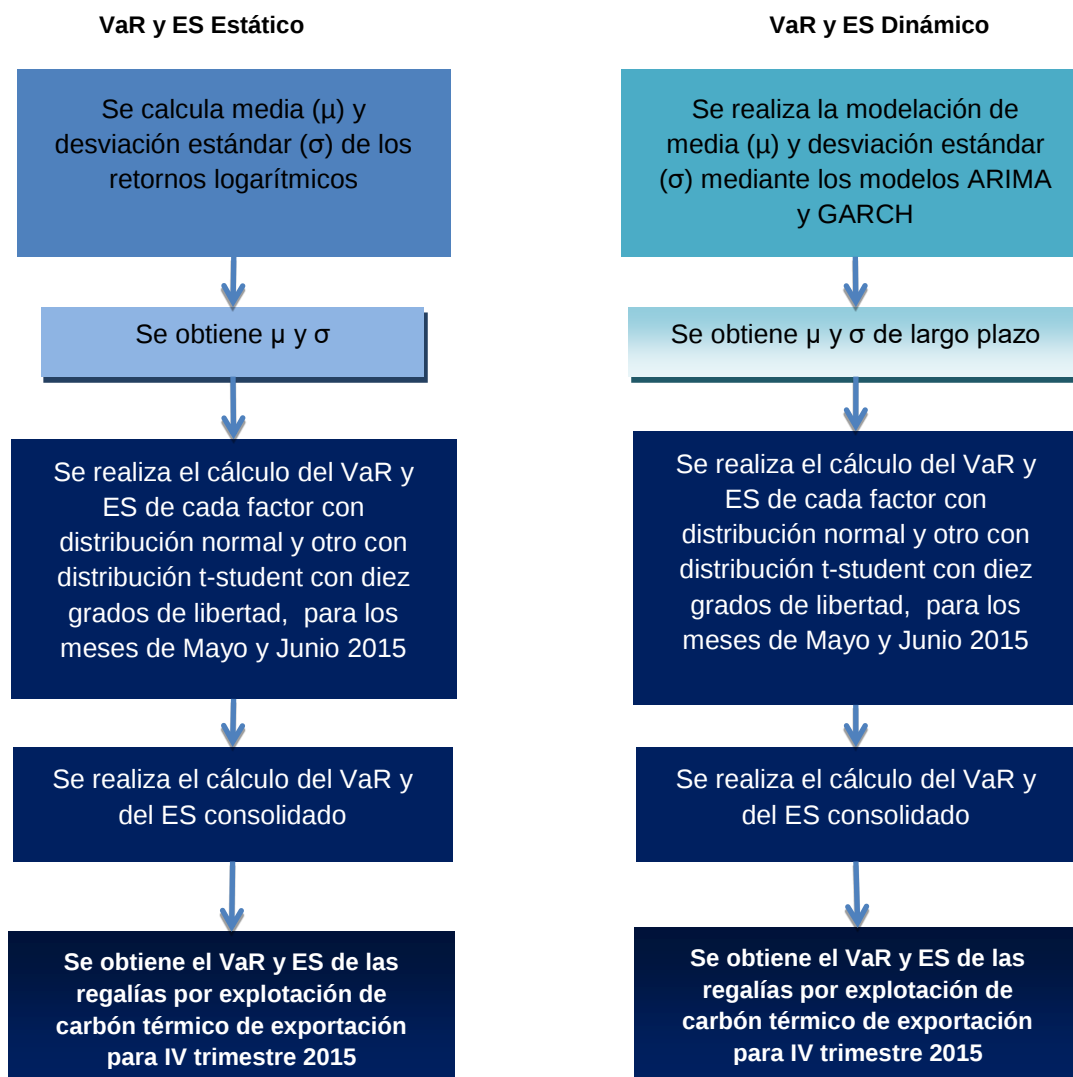
Cabe resaltar que el cálculo del VaR y el ES de las regalías consolidadas para el trimestre IV de 2015 se realizó de dos formas. El primero, según la norma, para el precio base de liquidación (PRCK), considera el máximo entre el precio interno de liquidación del carbón y el precio de exportación. Sin embargo, puede observarse que al considerar el cálculo de esta forma se restringe la estimación del VaR, ya que en eventos extremos (pérdidas) el modelo tomará el precio máximo, piso que impone la nación para cuidar sus ingresos, en cierta medida, de las fluctuaciones de las variables que se han considerado como factores de riesgo y otras.

Por esta razón, para cada una de las metodologías planteadas, se estimó el VaR y el ES sin considerar el precio base de liquidación para carbón de consumo interno y considerándolo, con el fin de visualizar el impacto de este sobre la liquidación de las regalías y las estimaciones de riesgo.

7.1.1. Metodología 1. VaR y ES Estático y Dinámico

Para esta metodología se utiliza los parámetros estimados a partir de los modelos ARMA y GARCH, cómo también la media y la desviación estándar calculada a partir de los retornos logarítmicos de las series, con el fin de comparar las estimaciones. Para el uso de la distribución t-student se usan diez grados de libertad, debido a que de esa forma se logra capturar el efecto de colas pesadas de la distribución t-student en las estimaciones. Generalmente, se usan diez grados de libertad para este tipo de estimaciones, pues, al incrementar los grados de libertad se pierde peso en las colas, aproximándose a una distribución normal (cuando los grados de libertad tienden a infinito).

Ilustración 7.4. Metodología para medición 1, VaR y ES estático y dinámico.

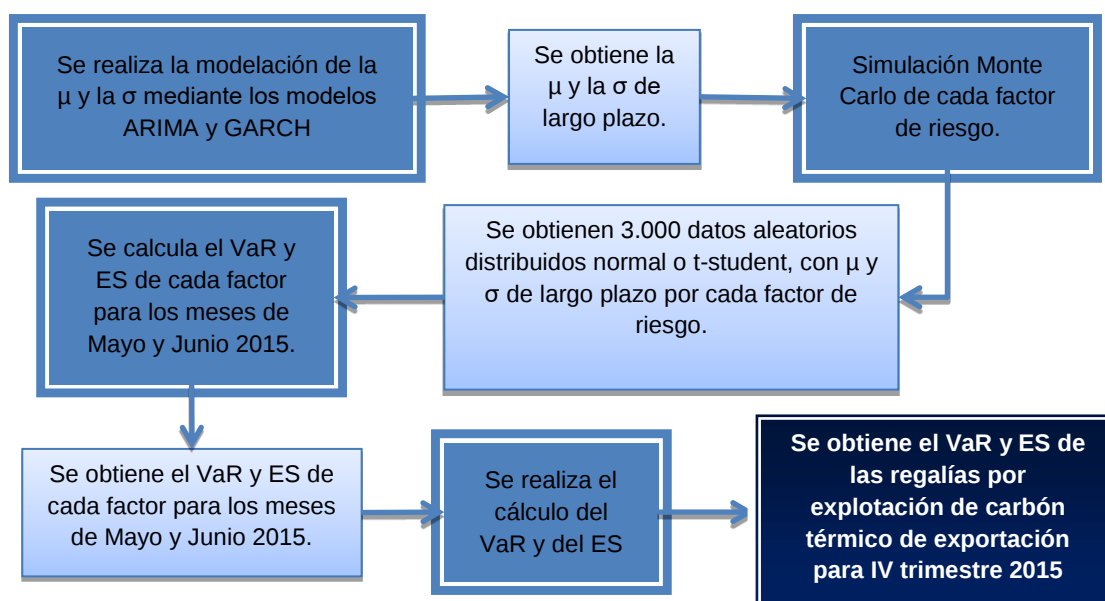


Fuente: Elaboración propia.

7.1.2. Metodología 2. VaR y ES mediante la Simulación Monte Carlo

A continuación se presenta la metodología para estimar el VaR y el ES de forma semi-paramétrica para cada factor de riesgo, mediante simulación Monte Carlo condicional con distribución normal y t-student, para obtener un VaR y un ES consolidado para cada distribución, usando el pronóstico de la media y la desviación estándar a largo plazo.

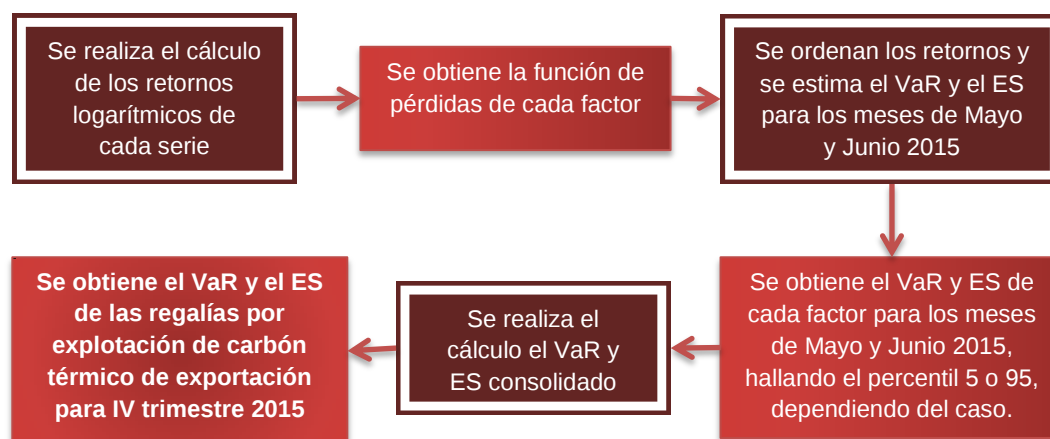
Ilustración 7.5. Metodología 2, VaR y ES mediante Simulación Monte Carlo



Fuente: Elaboración propia

7.1.3. Metodología 3. VaR y ES mediante Simulación histórica

Ilustración 7.6. Metodología 3, VaR y ES mediante Simulación Histórica



Fuente: Elaboración propia

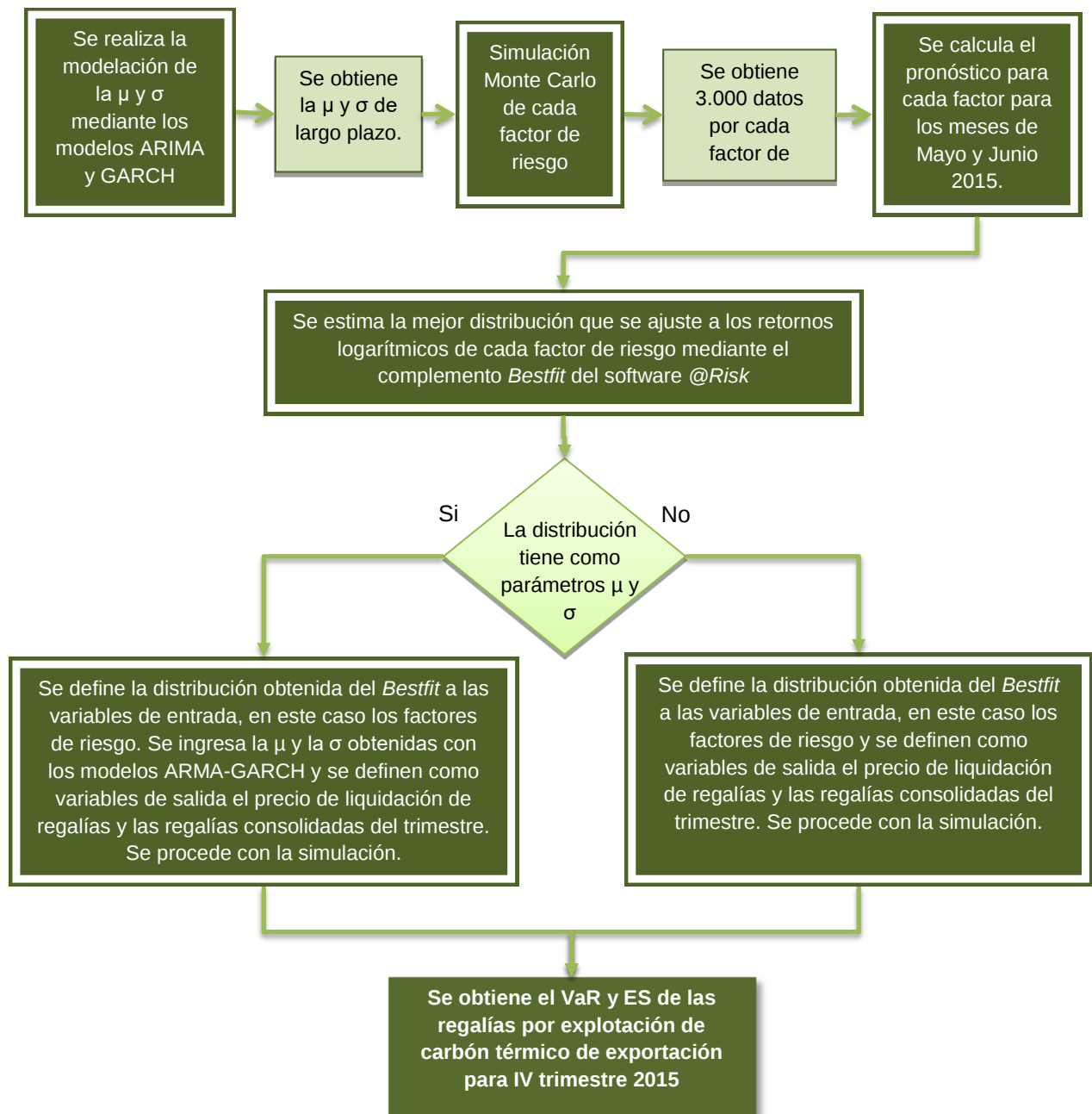
7.1.4. Metodología 4. VaR y ES mediante el software @Risk.

Se propone también otra metodología para obtener el VaR y el ES consolidado.

Para esta metodología se utilizan como insumo las observaciones de los retornos logarítmicos que se tienen registradas desde 29 de Marzo de 2010 hasta el 22 de abril de 2015. Posteriormente mediante el software *@Risk* y su complemento *Bestfit*, se busca la distribución que mejor se ajuste los retornos logarítmicos de cada factor de riesgo. Así, conociendo el comportamiento que sigue cada factor, se estima el VaR y el ES consolidado, el cual corresponde a las regalías por explotación de carbón térmico de exportación para el IV trimestre de 2015. Dependiendo de la distribución ajustada se usan los parámetros de media y desviación de largo plazo que resultaron de la modelación ARMA-GARCH, o se mantienen los parámetros dados por *@Risk*.

Por otro lado, con el propósito de comparar las metodologías, se hace la estimación para el VaR y el ES consolidado con la distribución normal y otra estimación con la distribución t-student, usando la media y la desviación estándar de largo plazo obtenidas mediante los modelos ARMA-GARCH (para el caso en el que se usa la distribución normal), como insumo para la simulación en *@risk*.

Ilustración 7.7. Metodología 4, simulación en el software @Risk.



Fuente: Elaboración propia.

8. Resultados y análisis.

8.1. Regalías.

Debido a que no se dispone de información respecto a las regalías causadas por trimestre desde 2010, se realiza este cálculo con base en cada una de las resoluciones expedidas desde el año 2010.

De esta manera, se estiman los precios base para liquidación de regalías para cada trimestre desde 2010 hasta 2015; debido a que hacen falta dos meses de información de los factores de riesgo (API2, BCI7 y TRM) para completar el cálculo del precio base de liquidación para las regalías del cuarto trimestre de 2015, se procede a estimar dichos valores mediante un pronóstico generado por simulación Monte Carlo, similar al usado en la metodología dos, sólo que esta vez se escoge el percentil 50 para el pronóstico, usando, desde luego, el pronóstico de largo plazo de media y desviación estándar, obtenidos de los modelos ARMA-GARCH.

Los datos de costos de manejo y transporte interno de carbón, así como el precio base de liquidación para consumo interno se extraen de cada una de las resoluciones trimestrales expedidas por UPME.

Para la liquidación global del total de las regalías causadas por trimestre por concepto de exportación de carbón térmico, se usan los datos de exportación mensual de carbón, disponibles en la página web del DANE⁴⁶, se realiza el cálculo aproximado de la proporción de carbón térmico exportado en relación con las exportaciones totales, con base en las proporciones de exportación de carbón térmico suministrados en los informes trimestrales del SIMCO. Dicha proporción se aplica a los datos mensuales del DANE (las proporciones se mantuvieron constantes en los meses de cada trimestre, pero varían de trimestre a trimestre) para finalmente tener los datos de exportación mensual de carbón, necesarios para cálculos de liquidación de regalías y precio base.

Ahora bien, con base en las estadísticas de explotación encontradas en el SIMCO, se estima el porcentaje de empresas que explotaban más de tres millones de toneladas anuales, y que porcentaje de empresas explotaban una cantidad menor a dicho rubro. Este porcentaje se estima para cada año, y se usa para el año siguiente del que fue calculado. Por ejemplo, si una empresa realiza explotaciones por 4,5 millones de toneladas en el 2013,

⁴⁶ Departamento Administrativo Nacional de Estadística

debe declarar, para sus regalías del año 2014, en todos los trimestres, el 10% de sus ingresos, es decir:

$$\text{Regalías causadas en el trimestre } x \text{ del año } n = \text{PCR}_x \text{ del trimestre } x \text{ del año } n * \text{Exportación de carbón térmico en el trimestre } x \text{ del año } n * 10\%$$

De igual forma, para todos los casos, se establece la siguiente condición: Si el precio de liquidación es menor que cero (0) para alguna de las zonas en un trimestre, entonces el modelo establece que las exportaciones de esa región, en dicho trimestre es cero (0).

No obstante, para el cálculo de las regalías de los trimestres del año 2015, debido a la ausencia de información necesaria para el cálculo, se tienen en cuenta los siguientes supuestos:

- El precio base para la liquidación de regalías de carbón para consumo interno se mantienen constante durante el 2015, y es igual al estipulado en la resolución vigente para el trimestre I de 2015.
- Las proporciones de exportación por departamentos y zonas carboníferas se mantienen constantes durante todo el 2015.
- La proporción de empresas que declaran el 5% o el 10% se mantienen constante durante el año 2015.
- Las exportaciones mensuales durante el año 2015 se consideran constantes y dicha cantidad es igual a la cantidad de exportaciones registradas en marzo del mismo año, a excepción del primer y segundo mes de 2015.

Finalmente, se realiza el cálculo de las regalías desde el año 2010 hasta el año 2015, teniendo en cuenta la liquidación tal como se especifica en las resoluciones emitidas por el la ANM y la UPME, y estimando el valor hipotético de las regalías en el caso que no se tuviera en cuenta el precio base de liquidación de regalías de carbón para consumo interno.

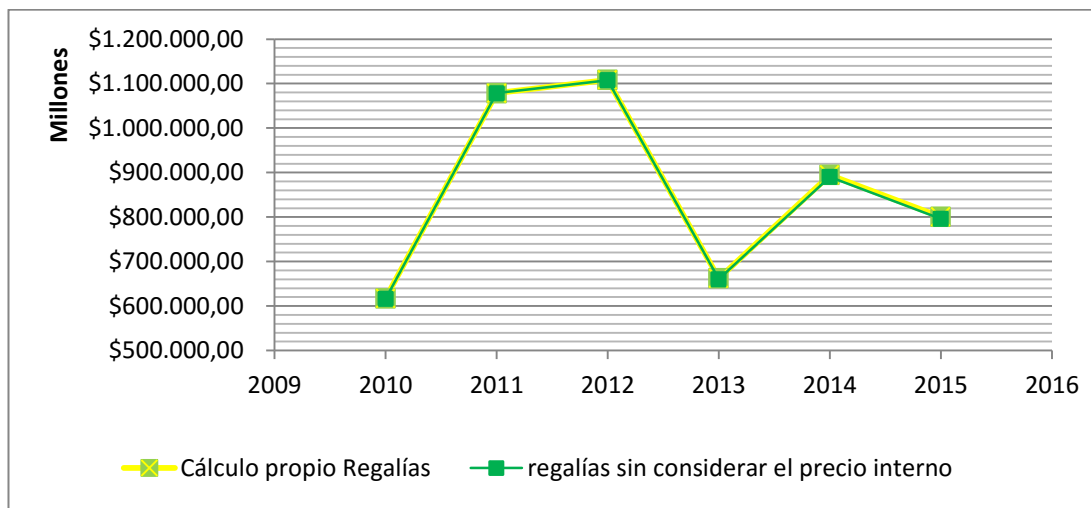
Tabla 8.1. Regalías Anuales (2010-2015).

	Regalías Anuales (en millones de pesos colombianos)					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Con Precio para consumo interno	\$617.181,68	\$1.078.482,36	\$1.108.346,11	\$662.252,40	\$894.519,38	\$800.464,98
Sin Precio para consumo interno	\$616.340,33	\$1.078.482,36	\$1.107.833,33	\$660.341,91	\$890.480,29	\$795.911,23

Fuente: Elaboración y cálculos propios, datos suministrados por: DANE, SIMCO, UPME, MinMinas, ANM, Fedesarrollo.

La estimación anterior se realiza con fines comparativos.

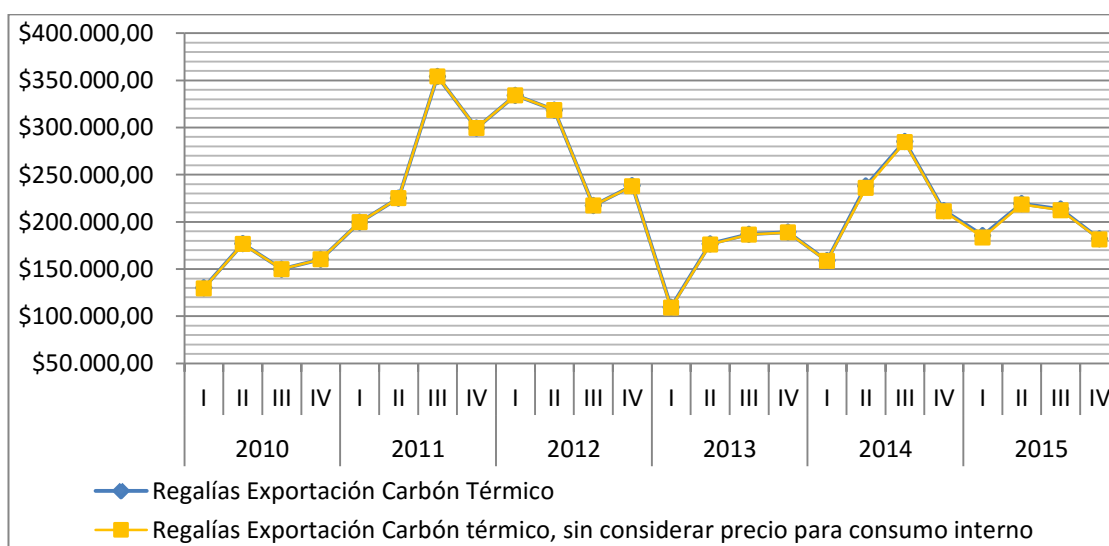
Gráfico 8.1. Regalías anuales (2010-2015), incluyendo y sin incluir el precio de liquidación de carbón térmico para consumo interno.



Fuente: Elaboración y cálculos propios, datos suministrados por: DANE, SIMCO, UPME, MinMinas, ANM, Fedesarrollo.

Las regalías causadas por trimestrales desde el año 2010 hasta el año 2015 se pueden apreciar en el gráfico 8.2:

Gráfico 8.2. Regalías trimestrales de carbón térmico de exportación. Incluyendo y sin incluir precio para consumo interno.

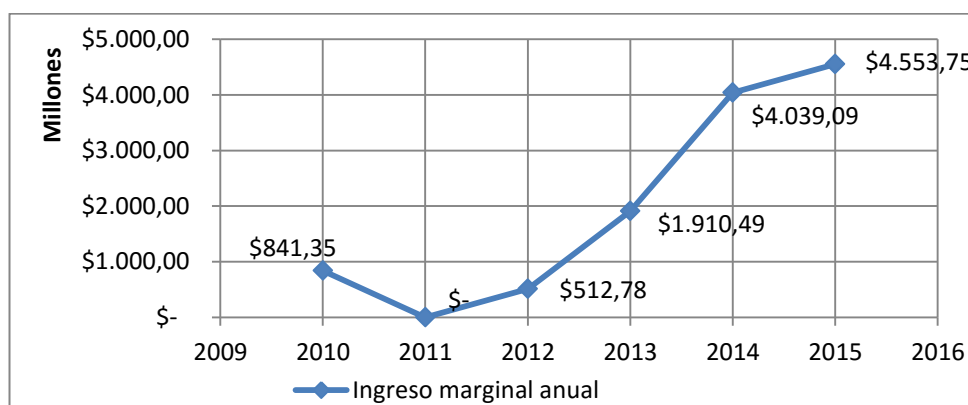


Fuente: Elaboración y cálculos propios, datos suministrados por: DANE, SIMCO, UPME, MinMinas, ANM, Fedesarrollo.

En los gráficos 8.1 y 8.2 se puede observar que a simple vista, el impacto que tiene la inclusión del precio base para liquidación de regalías de carbón para consumo interno en el cálculo del precio base de liquidación para las

regalías de carbón térmico de exportación no es muy grande. Sin embargo, al analizar detalladamente los 24 trimestres objeto de estudio, se puede detallar que en 16 de ellos se presenta un ingreso marginal debido a dicha inclusión.

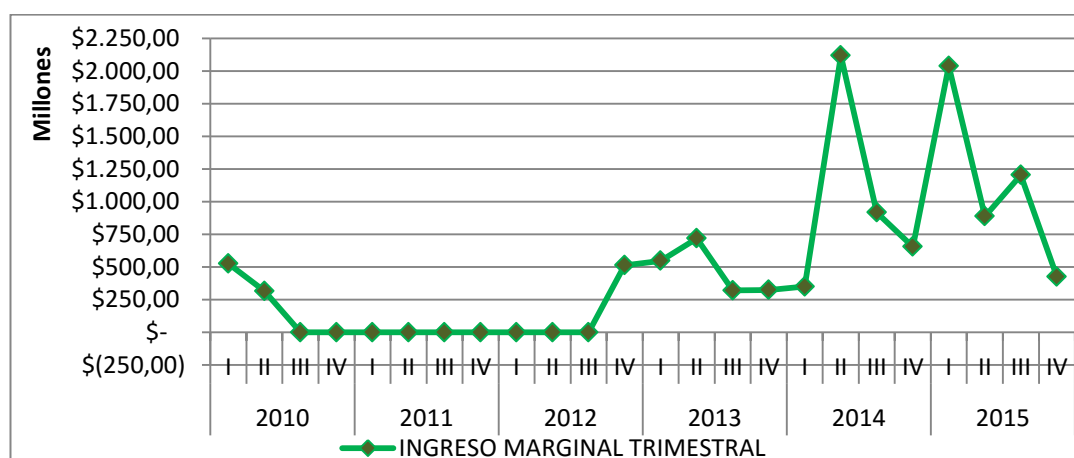
Gráfico 8.3. Ingreso marginal anual por incluir el precio para consumo interno en el cálculo del precio base de liquidación de las regalías de carbón térmico de exportación.



Fuente: Elaboración y cálculos propios, datos suministrados por: DANE, SIMCO, UPME, MinMinas, ANM, Fedesarrollo.

Se puede observar que con esta inclusión, el estado fija un piso inferior por trimestre a las empresas para la liquidación de regalías, lo que le ha permitido causar más ingresos por este concepto, que no se hubiesen causado de no haber estado presente dicha cota. En el gráfico 8.3 se puede observar el ingreso marginal que ha adquirido la nación gracias a la inclusión de esta cota en el cálculo de las regalías de carbón térmico de exportación. Lo anterior se puede apreciar trimestralmente en el gráfico 8.4:

Gráfico 8.4. Ingreso marginal trimestral por incluir el precio para consumo interno en el cálculo del precio base de liquidación de las regalías de carbón térmico de exportación

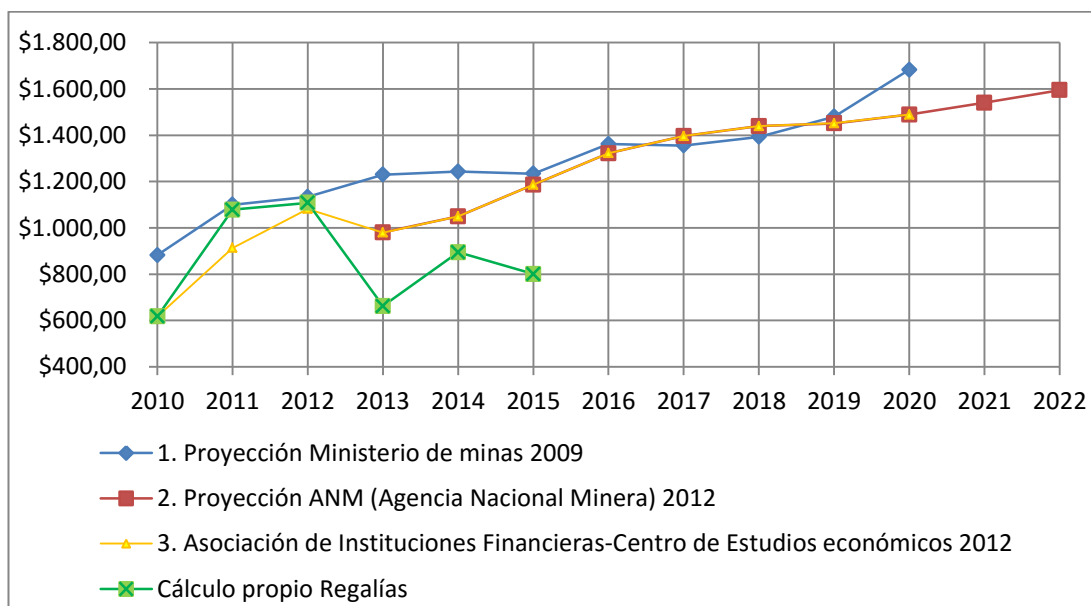


Fuente: Elaboración y cálculos propios, datos suministrados por: DANE, SIMCO, UPME, MinMinas, ANM, Fedesarrollo.

En el período comprendido entre 2010 y 2015, el estado ha percibido, de forma marginal, \$11.857 millones de pesos por la inclusión mencionada anteriormente en el cálculo de la liquidación de las regalías, siendo los últimos dos años, períodos donde se presenta el mayor ingreso marginal.

Por otro lado, comparando con las proyecciones de regalías por carbón térmico de exportación realizadas por el Ministerio de minas en 2009, la ANM (Agencia Nacional Minera) en 2012 y la asociación de Instituciones Financieras-Centro de Estudios económicos en 2012, se puede observar que existe una brecha entre las proyecciones y lo que ha sucedido. Este hecho, que indica que muy seguramente en el mediano plazo dichas proyecciones seguirán teniendo una brecha, ya que después del año 2011 sucedieron fenómenos contrarios a la expectativa que había en ese entonces: el precio internacional del carbón se desplomó, junto con el precio de otros *commodities*. Pese a una leve recuperación en el segundo trimestre de 2012, la tendencia del precio del carbón siguió a la baja, hecho que se conjugó con incrementos en el precio del flete. La TRM se mantuvo estable durante el año 2012.

Gráfico 8.5. Diferentes proyecciones Regalías Carbón térmico de exportación vs regalías causadas.

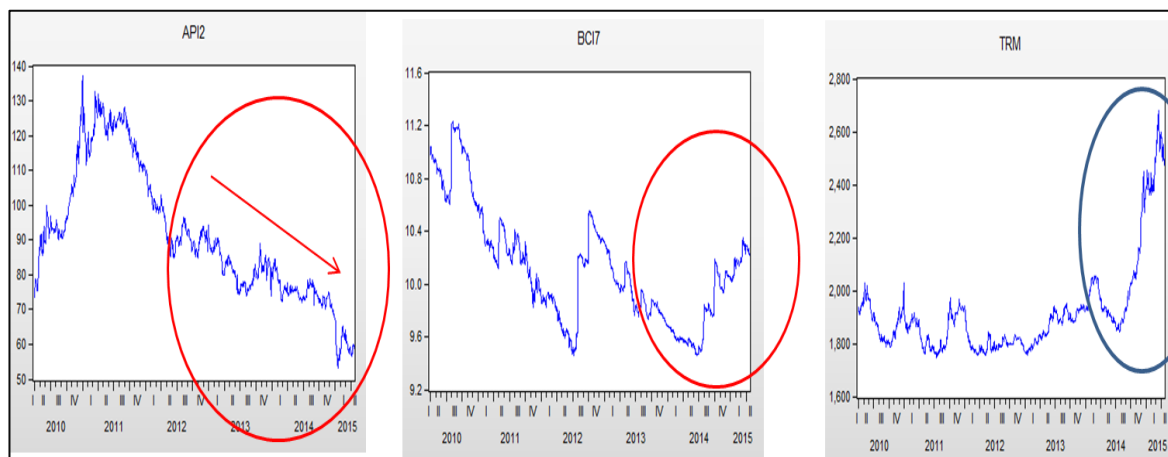


Fuente: Elaboración y cálculos propios, datos suministrados por: DANE, SIMCO, UPME, MinMinas, ANM, Fedesarrollo. Centro de estudios económicos.⁴⁷

⁴⁷ Cabe anotar, que estas proyecciones se encontraron para regalías generadas por explotación de carbón en general, por lo cual se procedió a estimar la proporción de regalías de carbón térmico de exportación en relación con el total de regalías de carbón en general para dichas proyecciones, hecho que pudo añadir sesgo/error a las proyecciones.

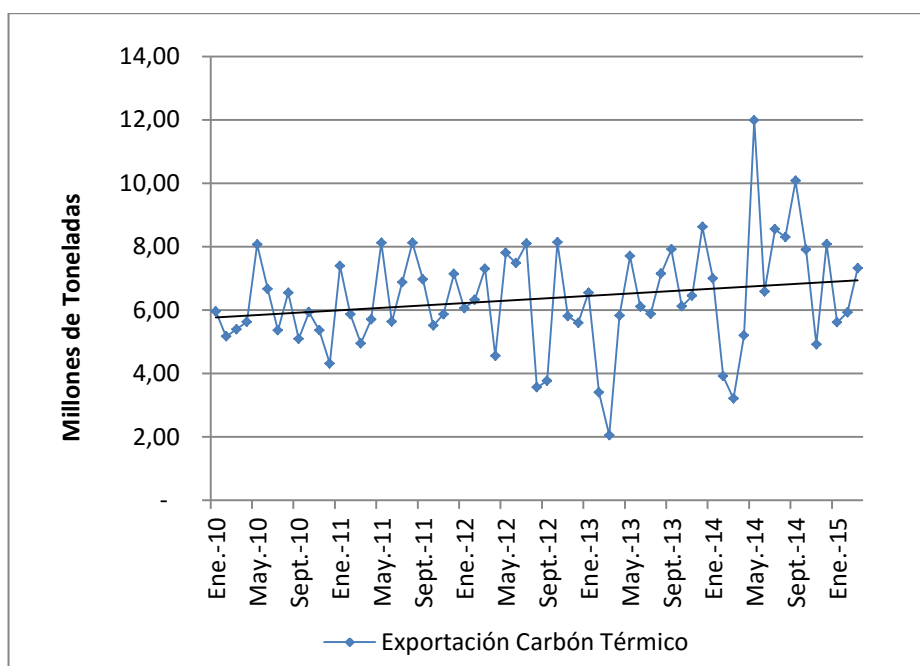
La situación expuesta anteriormente se puede observar en el gráfico 8.6. Cabe anotar que el nivel de exportaciones de carbón térmico tuvo una tendencia creciente, presentando picos y caídas en algunos meses. No obstante, este crecimiento, junto con el alza en la TMR a partir del tercer trimestre de 2014, no ha logrado contrarrestar el impacto generado por la caída en el índice API2 y la subida del índice BCI7.

Gráfico 8.6. Serie de precios API2, BCI7 y TRM. Énfasis en situaciones adversas.



Fuente: Bloomberg, elaboración propia mediante software Eviews.

Gráfico 8.7. Volumen exportación de Carbón (2010-2014)



Fuente: Elaboración propia, datos suministrados por el DANE.

8.2. VaR

Luego de aplicar las diferentes metodologías expuestas en el capítulo anterior, se obtuvieron 20 estimaciones para el VaR, 10 con precio de consumo interno y 10 sin precio de consumo interno. A continuación, en la tabla 7.1 se pueden apreciar los resultados del cálculo del VaR.

Tabla 8.2. VaR, resultados aplicación de las metodologías.

VaR API2							
Fecha	VaR Normal estático	VaR Normal condicional	VaR t- student	VaR t- student	VaR_normal SMC	VaR_t- student	VaR Simulación
may-15	\$ 53,7031	\$ 53,5637	\$ 52,1522	\$ 51,8834	\$ 53,6685	\$ 51,9332	\$ 54,0943
jun-15	\$ 50,0171	\$ 49,7819	\$ 47,4266	\$ 46,9840	\$ 49,9588	\$ 47,0659	\$ 50,6804
VaR BCI7							
Fecha	VaR Normal estático	VaR Normal condicional	VaR t- student estático	VaR t- student condicional	VaR_normal SMC	VaR_t- student SMC	VaR Simulación histórico
may-15	\$ 10,42	\$ 10,42	\$ 10,50	\$ 10,51	\$ 10,41	\$ 10,50	\$ 10,30
jun-15	\$ 10,60	\$ 10,59	\$ 10,75	\$ 10,76	\$ 10,58	\$ 10,74	\$ 10,38
VaR TRM							
Fecha	VaR Normal estático	VaR Normal condicional	VaR t- student estático	VaR t- student condicional	VaR_normal SMC	VaR_t- student SMC	VaR Simulación histórico
may-15	\$ 2.399,34	\$ 2.389,88	\$ 2.370,90	\$ 2.360,71	\$ 2.388,67	\$ 2.362,55	\$ 2.406,97
jun-15	\$ 2.344,02	\$ 2.327,27	\$ 2.293,84	\$ 2.275,98	\$ 2.325,14	\$ 2.279,19	\$ 2.357,56
VaR CONSOLIDADO TOMANDO EL PRECIO DE CONSUMO INTERNO (en millones de pesos)							
Fecha	VaR Normal estático	VaR Normal condicional	VaR t- student estático	VaR t- student condicional	VaR_normal SMC	VaR_t- student SMC	VaR Simulación histórico
IV trimestre	\$172.244,27	\$171.720,04	\$168.722,24	\$168.025,38	\$171.900,07	\$168.162,98	\$173.456,49
VaR CONSOLIDADO SIN EL PRECIO DE CONSUMO INTERNO (en millones de pesos)							
Fecha	VaR Normal estático	VaR Normal condicional	VaR t- student estático	VaR t- student condicional	VaR_normal SMC	VaR_t- student SMC	VaR Simulación histórico
IV trimestre	\$170.169,47	\$169.555,53	\$158.503,41	\$157.109,95	\$169.771,49	\$164.790,58	\$171.605,54
VaR CONSOLIDADO TOMANDO EL PRECIO DE CONSUMO INTERNO (millones de \$)				VaR CONSOLIDADO SIN EL PRECIO DE CONSUMO INTERNO (millones de \$)			
Fecha	VaR normal condicional @Risk	VaR best fit Condicional @Risk	VaR tstudent @Risk	Fecha	VaR normal condicional @Risk	VaR best fit Condicional @Risk	VaR tstudent @Risk
IV trimestre	\$171.695,90	\$170.838,00	\$165.730,00	IV trimestre	\$169.527,40	\$168.441,20	\$161.590,00

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 8.3 se presentan las metodologías que presentaron los valores más altos y más bajos (sin incluir los obtenidos mediante @risk) para el VaR y el estimado que se hizo del valor medio.

Tabla 8.3. VaR Regalías y estimado

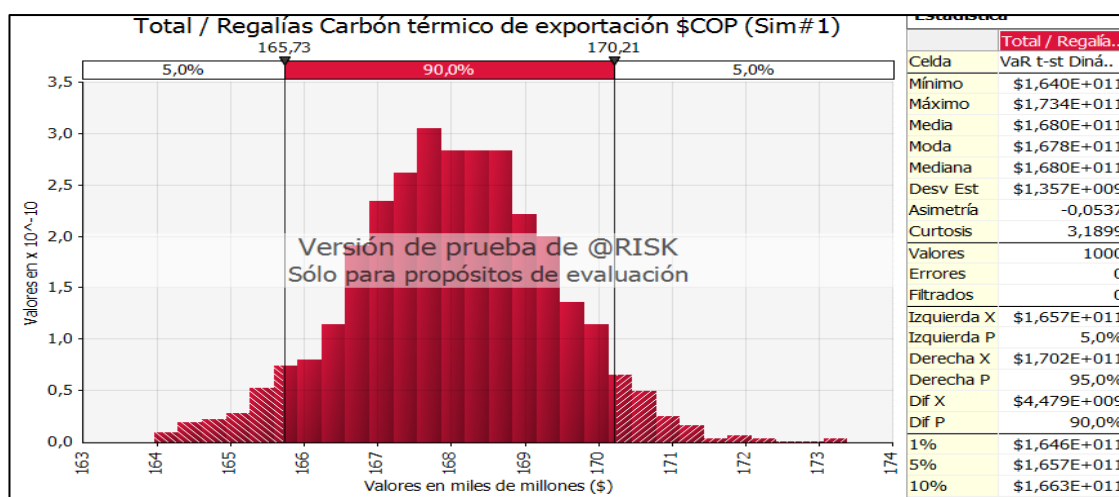
REGALÍAS 2015 CONSIDERANDO EL PRECIO DEL CARBÓN PARA		
Estimado	VaR t-student condicional 2015	VaR Simulación histórico
\$ 800.464.975.210,12	\$ 786.542.889.755,13	\$ 791.973.995.735,53
REGALÍAS 2015 SIN CONSIDERAR EL PRECIO DEL CARBÓN PARA		
Estimado	VaR t-student condicional	VaR Simulación histórico
\$ 795.911.227.505,99	\$ 771.499.001.480,07	\$ 785.994.589.424,42

Fuente: Elaboración propia.

En ese orden de ideas, se puede percibir que el VaR para las regalías del año 2015 es de \$786.542,89 millones de pesos COP, si se mantienen las condiciones de producción y exportación, es decir, con un 95% de confianza se puede afirmar que las regalías que percibirá Colombia por concepto de exportación de carbón térmico no estarán por debajo de dicha cifra. Se puede corroborar también que la pérdida, o el ingreso mínimo esperado será menor si no se tiene en cuenta el precio de liquidación de carbón para consumo interno.

En el gráfico 8.8 se puede apreciar el VaR de las regalías para el IV trimestre de 2015 obtenido mediante el software @risk, con distribución t-student. Se puede observar que la simulación con @risk arroja un VaR de \$165.730 millones de pesos para el trimestre IV de 2014. Para efectos explicativos, solo se mostrará el histograma obtenido con esta distribución.

Gráfico 8.8. VaR obtenido mediante @risk, con distribución t.student.



Fuente: Elaboración propia, software @risk.

8.3. ES

A continuación, en la tabla 8.4 se pueden apreciar los resultados del cálculo del ES.

Tabla 8.4. ES, resultados de la aplicación de las metodologías.

ES API2							
Fecha	ES Normal estático	ES Normal condicional	ES t-student estático	ES t-student condicional	ES_normal SMC	ES_t- student	ES Simulación
may-15	\$ 51,90	\$ 51,61	\$ 49,74	\$ 49,28	\$ 52,57	\$ 50,28	\$ 52,27
jun-15	\$ 47,00	\$ 46,53	\$ 43,53	\$ 42,80	\$ 48,12	\$ 44,38	\$ 47,62
ES BCI7							
Fecha	ES Normal estático	ES Normal condicional	ES t-student estático	ES t-student condicional	ES_normal SMC	ES_t- student SMC	ES Simulación histórico
may-15	\$ 10,52	\$ 10,52	\$ 10,63	\$ 10,66	\$ 10,47	\$ 10,60	\$ 10,55
jun-15	\$ 10,77	\$ 10,79	\$ 10,99	\$ 11,04	\$ 10,68	\$ 10,93	\$ 10,83
ES TRM							
Fecha	ES Normal estático	ES Normal condicional	ES t-student estático	ES t-student condicional	ES_normal SMC	ES_t- student SMC	ES Simulación histórico
may-15	\$ 2.366,15	\$ 2.355,84	\$ 2.325,73	\$ 2.314,40	\$ 2.368,90	\$ 2.334,18	\$ 2.369,52
jun-15	\$ 2.285,50	\$ 2.267,45	\$ 2.215,13	\$ 2.195,59	\$ 2.290,32	\$ 2.229,77	\$ 2.291,41
ES CONSOLIDADO TOMANDO EL PRECIO DE CONSUMO INTERNO (en millones de pesos)							
Fecha	ES Normal estático	ES Normal condicional	ES t-student estático	ES t-student condicional	ES_normal SMC	ES_t- student SMC	ES Simulación histórico
IV trimestre	\$168.161,57	\$167.427,10	\$163.512,28	\$162.741,87	\$169.430,98	\$164.629,95	\$168.810,81
ES CONSOLIDADO SIN EL PRECIO DE CONSUMO INTERNO (en millones de pesos)							
Fecha	ES Normal estático	ES Normal condicional	ES t-student estático	ES t-student condicional	ES_normal SMC	ES_t- student SMC	ES Simulación histórico
IV trimestre	\$164.784,25	\$163.796,85	\$158.503,41	\$157.109,95	\$166.509,19	\$160.014,87	\$165.664,07
ES CONSOLIDADO TOMANDO EL PRECIO DE CONSUMO INTERNO (millones de \$)				ES CONSOLIDADO SIN EL PRECIO DE CONSUMO INTERNO (millones de \$)			
Fecha	ES normal Condicional @Risk	ES best fit Condicional @Risk	ES tstudent @Risk	Fecha	ES normal condicional @Risk	ES best fit Condicional @Risk	ES tstudent @Risk
IV trimestre	\$171.685,00	\$170.824,00	\$164.750,00	IV trimestre	\$169.515,00	\$168.429,00	\$160.400,00

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 8.5 se presentan las metodologías que presentaron los valores más altos y más bajos para el ES y el estimado que se hizo del valor medio.

Tabla 8.5. ES Regalías y estimado

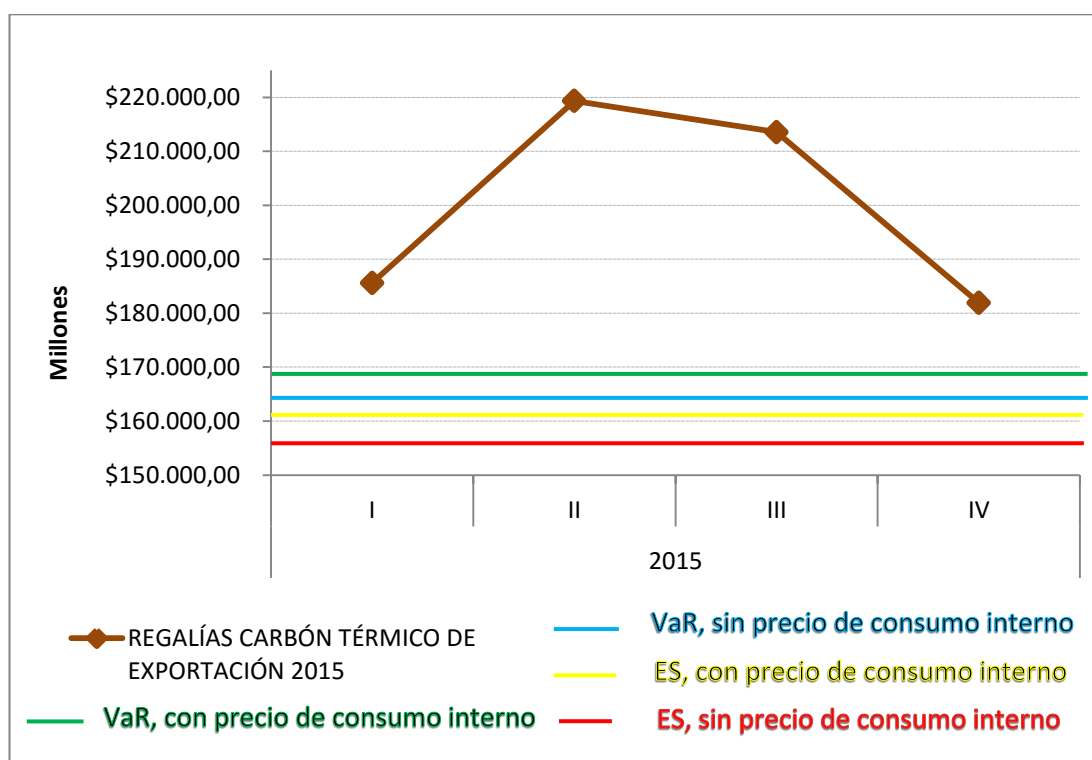
REGALÍAS 2015 CONSIDERANDO EL PRECIO DEL CARBÓN PARA		
Estimado	ES t-student condicional	ES normal Condicional @Risk
\$ 800.464.975.210,12	\$ 781.259.379.607,14	\$ 790.202.505.032,33
REGALÍAS 2015 SIN CONSIDERAR EL PRECIO DEL CARBÓN PARA		
Estimado	ES t-student condicional	ES normal condicional @Risk
\$ 795.911.227.505,99	\$ 771.499.001.480,07	\$ 783.904.047.773,42

Fuente: Elaboración propia.

Se puede afirmar entonces, que el *Expected Shortfall* o la pérdida esperada en las colas (eventos extremos, en este caso el mínimo ingreso esperado), es de 781.259,38 millones de pesos para las regalías de carbón térmico de exportación para el año 2015.

En el gráfico 8.10 se puede apreciar la relación de las regalías esperadas con el VaR de las regalías de carbón térmico de exportación para el IV trimestre de 2015. Contando con 4 meses determinísticos (enero, febrero, marzo, abril, meses de los cuales se disponía de información), y 2 meses en los cuales no se dispone de información (mayo, junio).

Gráfico 8.9. VaR y ES Regalías Carbón Térmico de exportación, trimestre IV de 2015



Fuente: Elaboración propia.

9. PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE COBERTURA FRENTE AL RIESGO FINANCIERO

9.1. Estado

Para el estado, se proponen las siguientes estrategias que podrían tener un impacto positivo en la liquidación de regalías de carbón térmico de exportación:

- Para la tasa representativa del mercado, en vez de usar el promedio semestral, utilizar un promedio ponderado por nivel de exportación en el mes *i*, que logre capturar los acontecimientos en cada mes y sea acorde con el volumen de exportación de dicho mes.
- Eliminar el rezago de tres meses presente en el cálculo de las regalías. La UPME atribuye este rezago a la disponibilidad de información, sin embargo, este rezago se viene presentando desde antes del año 2010, época en la que era justificable una demora de 3 meses en información relevante a índices como el API2 y el BCI7 y niveles de exportación. No obstante, hoy en día se dispone de sistemas de información mucho más eficaces, en los cuales se puede gestionar la información de manera inmediata. Esto se justifica, en el hecho de que al no tener rezago en la información se puede tener más precisión en el cálculo de las medidas de riesgo financiero. Además, se capturaría mejor el impacto de lo que ha sucedido en el período inmediatamente anterior, hecho que evitaría configuraciones intencionales de alto nivel de exportación, dado un período rezagado que haya producido un precio base de liquidación bajo.

Un escenario interesante se plantea en el hecho de disponer información en tiempo real, es decir, realizar el cálculo del precio base de liquidación con la información correspondiente al trimestre en el cuál se liquidan las exportaciones. En otras palabras, que toda la información, incluyendo niveles de exportación, TRM, índices, calidades y costos procedan del trimestre a liquidar.

9.2. Empresas

Para las empresas, se propone:

Dados los Valores en Riesgo hallados:

- Se considera que el precio del carbón tiene tendencia no muy pronunciada a la baja en el corto plazo, dado el comportamiento de la serie de precios, el VaR y el ES. Para una empresa importadora de carbón, se considera un escenario optimista en el caso del precio del carbón, sin embargo, el flete presenta tendencia a subir en el corto y mediano plazo.
- La misma situación, refleja una desventaja para productores y comercializadores exportadores, que en el caso colombiano amortiguan el impacto dado el riesgo financiero que también asume el país debido a la forma en la cual se realiza el cálculo de las regalías por carbón térmico de exportación. No obstante, productores y exportadores podrían cubrirse mediante derivados financieros. Por ejemplo, el uso de contratos de venta con entrega física, contratos estandarizados por medio de los cuales fijaran un precio de venta futuro para su producción, que se adapte a sus requerimientos financieros.
- Dependiendo del Incoterm usado en la negociación internacional para el carbón, es atractivo para exportadores como importadores adquirir derivados financieros cuyo commodity sea el flete, ya que este se negocia en el mercado con contratos estandarizados. En grandes volúmenes de negociación, el impacto de la cobertura superaría el costo de la misma y ofrecería un blindaje frente a las variaciones del flete. Los contratos más comunes en este mercado son los FFA'S, los cuales fueron explicados en el capítulo 4, sección 4.5.6. Cabe resaltar que en ocasiones, la cobertura puede ser mas costosa que el no cubrirse, ya que el precio spot de la fecha para la cual se pacta el contrato puede presentar mejores condiciones que el precio fijado en el contrato mismo.
- Tanto importadores como exportadores deberían usar derivados financieros para cubrirse frente a las fluctuaciones de tasa

representativa del mercado. Una opción muy atractiva es mediante SWAPS a la medida, que aseguran un intercambio de flujos que dependen de las fluctuaciones de la tasa. En principio esto permitiría planear de forma mas precisa aspectos como presupuesto de mediano plazo, proyecciones de costos, entre otros.

10. CONCLUSIONES

La metodología desarrollada en esta investigación permite identificar y analizar los factores de riesgo a los cuales están expuestos tanto las organizaciones carboníferas como el estado Colombiano. Empezando con la caracterización de la cadena de abastecimiento, posteriormente, con la cuantificación de los factores de riesgos mediante diferentes métodos, tomando como insumo el análisis de las series de tiempo.

Los factores de riesgo identificados son el precio del carbón, el precio del flete marítimo y la tasa representativa del mercado. Estas series financieras presentan problemas de heterocedasticidad y de colas pesadas lo que hace necesaria emplear técnicas robustas para el tratamiento de dichas series. Para esta investigación se modeló la media y la varianza mediante los modelos ARMA-GARCH, para comparar la estimación del VaR y ES utilizando dicha modelación y sin utilizarla. El resultado obtenido fue una mejor estimación de las colas mediante la utilización de dichos modelos, además se comprobó que la distribución t- student estima mejor las colas que la distribución normal y la distribución empírica de los datos.

Además se realiza una comparación entre la utilización de una plantilla de Excel y el software @Risk para la simulación Monte Carlo con una distribución normal y t-student, en el cual se obtiene un resultado similar entre los dos programas. Sin embargo cabe resaltar que el tiempo requerido en el software @Risk es mucho menor que con una plantilla de Excel, además este proporciona herramientas gráficas, hecho que permite un análisis más detallado de los resultados.

Las futuras investigaciones podrían encaminarse en:

- Estimar el VaR y ES mediante métodos de medición más robustos como la teoría del Valor extremo, donde se utilice un enfoque de cópulas para estimar la dependencia entre los factores de riesgo. Lo anterior, con el fin de conocer la brecha entre los métodos desarrollados en esta investigación y el método propuesto, ya que se podría determinar si realmente vale la pena invertir un mayor esfuerzo tanto computacional como en el tiempo de ejecución para la cuantificación del riesgo con dicho enfoque.
- Se propone desarrollar una medición del riesgo para el precio de liquidación de las regalías, en el cual se considere un análisis del nivel de producción, exportación, costos internos de cada zona entre otros factores de riesgo.

- Se considera realizar un análisis de sensibilidad tanto para el nivel de exportación como para el nivel de producción para cada uno de las zonas, ya que se podría encontrar una estructura óptima que maximice el ingreso para el estado Colombiano por concepto de regalías.
- Se propone realizar la estimación del VaR y ES para cada una de las zonas carboníferas, ya que cada zona tiene características diferentes.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Acerbi, C., & Tasche, D. (2002). On the coherence of expected shortfall. *Journal of Banking and Finance*, 26(7), 1487–1503.
- Agudelo, C., & Arias, J. (2011). *FORMULACIÓN DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE PORTAFOLIO AJUSTADO POR NIVEL DE RIESGO PARA GENERADORES TÉRMICOS EN COLOMBIA*. Universidad del Valle.
- Alonso, J. C., & Arcos, M. A. (2006a). Cuatro hechos estilizados de las series de rendimientos: Una ilustración para Colombia. *Estudios Gerenciales*, 22(100), 103–123.
- Alonso, J. C., & Arcos, M. A. (2006b). VALOR EN RIESGO: EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE DIFERENTES METODOLOGÍAS PARA 7 PAÍSES LATINOAMERICANOS. *Borradores de Economía Y Finanzas*, (8).
- Arriagada Carrazana, J. L. (2001). *Aplicación de instrumentos financieros en el sector eléctrico*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J.-M., & Heath, D. (1999). Coherent Measures of Risk. *Mathematical Finance*, 9(3), 203–228.
- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), 307–327.
- Box, G. E. P., & Pierce, D. (1970). Distribution of Residual Autocorrelations in Autoregressive-Integrated Moving Average Time Series Models. *Journal of the American Statistical Association*, 65(332), 1509–1526.
- Casas Monsegny, M., & Cepeda Cuervo, E. (2008). Modelos ARCH, GARCH y EGARCH: aplicaciones a series financieras. *Cuadernos de Economía*, 27(48), 287–319.
- Christoffersen, P. F. (2012). *Elements of Financial Risk Management*. *Elements of Financial Risk Management*. Elsevier.
- Cvitanic, J., & Zapatero, F. (2004). *Introduction to the Economics and Mathematics of Financial Markets*. *Technology* (Vol. 1).
- Dowd, K. (2002a). *An Introduction to Market Risk Measurement* (1st ed.). Wiley Finance.
- Dowd, K. (2002b). *Measuring Market Risk*. Wiley Finance.

- Engle, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation, *50*(4), 987–1007.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). *Econometría* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Jarque, C., & Bera, A. (1987). A test for normality of observations and regression residuals. ... *Statistical Review/Revue Internationale de Statistique*, *55*(2), 163–172.
- Mcneil, A. J., Frey, R., & Embrechts, P. (2005). *Quantitative Risk Management: Concepts, Techniques, and Tools*.
- Melo Velandia, L. F., & Becerra Camargo, O. R. (2005). Medidas de riesgo , características y técnicas de medición : una aplicación del VaR y el ES a la tasa Interbancaria de Colombia. *Bogotá, Banco de La Republica*, 1–75.
- Merna, T., & Faisan, A. T. (2005). *Corporate Risk Management: An Organisational Perspective*. John Wiley & Sons Ltd.
- Ortiz, A. M. (2013). Estudio sobre los impactos socio-económicos del sector minero en Colombia: encadenamientos sectoriales. Bogotá DC: Fedesarrollo.
- Sánchez Torres, C. A., & Ibañez Parra, O. (2007). Regulación económica y política de competencia en el sector carbonífero colombiano . *Universidad Sergio Arboleda-Colombia*, *7*(13), 147–172.
- Urbasos Ramos, Á. (2011). *Optimización y gestión del riesgo del aprovisionamiento de carbón de centrales termoeléctricas*.
- Uribe, J. M., & Ulloa, I. M. (2012). LA MEDICIÓN DEL RIESGO EN EVENTOS EXTREMOS. UNA REVISIÓN METODOLÓGICA EN CONTEXTO. *Lecturas de Economía No.76*.
- Valencia, A. M. (2010). Estimadores del índice de cola y el valor en riesgo. *Cuadernos de Administración*, *26*, No 44.
- Vergara C., M. A., & Maya O., C. (2009). Monte Carlo estructurado. Estimación del valor en riesgo en un portafolio accionario en Colombia. *AD-MINISTER Universidad EAFIT*, 68–88.