

DISEÑO DE UN PRODUCTO DERIVADO CLIMÁTICO PARA LA COBERTURA DE
RIESGO EN LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN TÉRMICO EN EL DEPARTAMENTO DE LA
GUAJIRA

Línea de Investigación:
Riesgo, Cobertura y Especulación

Asesor (a):
Gloria Inés Macías Villalba

Autores:
Jorge Enrique Barbosa S.

Juan David Pérez S.

Oscar Leonardo Carreño Córdoba

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA

PROGRAMA DE INGENIERIA FINANCIERA

BUCARAMANGA, MAYO 25 DE 2015

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS	7
1. MERCADO DE DERIVADOS	8
1.1 DEFINICIÓN DE UN DERIVADO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DERIVADO CLIMÁTICO .	10
2. EL CARBÓN	14
2.1 USOS DEL CARBÓN Y CLASIFICACIÓN.....	14
2.2 PROCESO DE CONVERSIÓN DEL CARBÓN EN ELECTRICIDAD:.....	15
2.3 PROCESO DE CONVERSIÓN DEL CARBÓN COQUE EN ACERO.....	17
2.4 CARBÓN EN EL MUNDO.....	18
2.4.1 PAÍSES PRODUCTORES DE CARBÓN (2013E)	18
2.4.2 PAÍSES PRODUCTORES DE CARBÓN TÉRMICO Y CARBÓN COQUE (2013E)	20
2.4.3 PAÍSES EXPORTADORES DE CARBÓN (2013E).....	20
2.4.4 PAÍSES IMPORTADORES DE CARBÓN (2013E)	21
2.4.5 USO DEL CARBÓN EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD (2012).....	22
2.5 CARBÓN EN COLOMBIA	22
2.5.1 PRODUCCIÓN POR TIPO DE CARBÓN	27
2.5.2 PRODUCCIÓN POR TIPO DE MINERÍA.....	28
2.5.3 ALMACENAMIENTO DEL CARBÓN	29
3. RIESGO CLIMATICO Y SU EFECTO EN LA PRODUCCION DE CARBON.	31
3.1 EL CLIMA EN COLOMBIA	31
3.2 FENOMENOS CLIMATICOS.....	33
3.3 RIESGO CLIMÁTICO	34
3.3.1 ¿A QUIÉN LE AFECTA EL RIESGO CLIMÁTICO?.....	34
3.4 INFLUENCIA DEL RIESGO CLIMÁTICO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN TÉRMICO EN EL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA	35
3.5 ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS CLIMATICOS EN COLOMBIA Y SU INCIDENCIA EN LA PRODUCCION DE CARBON.....	37
4. APLICACIÓN DE MODELOS ECONOMETRICOS A LAS VARIABLES QUE IMPACTAN EN LA PRODUCCIÓN CON SU RESPECTIVO ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	44
5. DISEÑO DEL PRODUCTO DERIVADO CLIMÁTICO.....	57
6. CONCLUSIONES	66
7. REFERENCIAS.....	68

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. PAISES PRODUCTORES DE CARBÓN (2013E)	18
Tabla 2. PAÍSES PRODUCTORES DE CARBÓN TÉRMICO Y CARBÓN COQUE (2013E)	20
Tabla 3. PAÍSES EXPORTADORES DE CARBÓN (2013E).....	21
Tabla 4. PAÍSES IMPORTADORES DE CARBÓN (2013E)	21
Tabla 5. USO DEL CARBÓN EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD (2012).....	22
Tabla 6. ZONAS CARBONÍFERAS DE COLOMBIA, MEDIDAS EN MILLONES DE TONELADAS (MT).....	24
Tabla 7. HISTÓRICO DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN EN COLOMBIA (MILES DE TONELADAS)	25
Tabla 8. PRODUCCIÓN DE CARBÓN POR DEPARTAMENTO (MILES DE TONELADAS)	26
Tabla 9. PRODUCCIÓN POR TIPO DE CARBÓN	27
Tabla 10. PRODUCCIÓN POR TIPO DE MINERÍA.....	29
Tabla 11. DATOS	44

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN DE LOS PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE CARBÓN.....	19
Gráfica 2. PARTICIPACIÓN DE LOS PAÍSES PRODUCTORES POR CONTINENTE.	19
Gráfica 3. ZONAS DE EXPLOTACIÓN DEL CARBÓN.....	23
Gráfica 4. PRODUCCIÓN DE CARBÓN POR DEPARTAMENTO (%)	267
Gráfica 5. PRODUCCIÓN POR TIPO DE CARBÓN	278
Gráfica 6. PARTICIPACIÓN POR TIPO DE CARBÓN.....	289
Gráfica 7. PRECIPITACIÓN VS TRIMESTRE	478
Gráfica 8. PRODUCCIÓN VS TRIMESTRE	48
Gráfica 9. HUMEDAD VS TRIMESTRE.....	49
Gráfica 10. PRODUCCIÓN VS PRECIPITACIÓN	55
Gráfica 11. PRODUCCIÓN VS HUMEDAD	556

INTRODUCCIÓN

El carbón es el combustible fósil más abundante en la naturaleza, con 860.938 Mt (millones de toneladas). Colombia se ubica en el decimoprimer lugar con 6.593,4 Mt, equivalentes al 0,8% de las reservas mundiales medidas a finales del 2010. Con la tasa de producción anual del 2012, las reservas medidas de carbón en Colombia aseguran más de 92,44 años de producción, suficientes para participar a gran escala en el mercado internacional y abastecer la demanda interna. (Statistical Review of World Energy Full Report 2011, British Petroleum Company)

El proyecto propuesto se desarrolla para el Departamento de la Guajira, que posee unas reservas de 3.694,6 Mt, equivalentes al 56% de las reservas del país. De las cuales, el 95% corresponde a carbón térmico.

En el Departamento de la Guajira, se ubica una de las más grandes empresas mineras encargadas de la explotación y exportación del carbón térmico, conocida como El Cerrejón que lo conforman tres sectores: Cerrejón Norte, Cerrejón Central y Cerrejón Sur.

La principal variable a tener en cuenta en el proyecto se relaciona con el régimen de lluvias, para el caso de Colombia, debido a su ubicación geográfica y a su topografía, el nivel de lluvias varía significativamente desde 500 mm hasta 12000 mm en los Departamentos de la Guajira y Choco, respectivamente. En el año se presentan temporadas de intenso verano y de lluvias las cuales pueden durar varios meses en forma interrumpida. Agravándose la situación cuando se presenta el fenómeno del niño y la niña. Lo anterior, tiene gran impacto sobre los aspectos sociales y

económicos del país afectando la capacidad de producción de muchas empresas, entre ellas las del sector carbonífero. Ante las consecuencias generadas por los cambios adversos del clima, se han establecido instrumentos que permiten traspasar o trasladar el riesgo con el fin de que cada persona o empresa escoja la combinación que le resulte conveniente entre los niveles de riesgo y rentabilidad que anhela.

Dado lo anterior, se hace necesario la adopción de un instrumento financiero que contrarreste el riesgo ocasionado al sector minero, más específicamente al del carbón. Por ello este trabajo tiene como objetivo principal, la creación de un derivado que genere cobertura a las compañías productoras de carbón térmico en el Departamento de la Guajira.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Diseñar un derivado para hacer cobertura de riesgos climáticos en el sector carbonífero en La Guajira.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar cómo influye el riesgo climático sobre la producción de carbón térmico en el Departamento de la Guajira.
- Aplicar modelos econométricos que ponderen y atenúen que variables inciden en determinado grado sobre el riesgo de la producción de carbón térmico en La Guajira.
- Realizar modelos del derivado climático para la producción de carbón térmico por medio de una herramienta en Excel donde se muestre la estrategia de cobertura con cambios de escenarios.

1. MERCADO DE DERIVADOS

El mundo en su entorno actual es caracterizado por tener un proceso globalizador y competitivo, adquiriendo cada vez mayor impulso sumado a los múltiples avances que vienen realizándose tanto en los países desarrollados como en los subdesarrollados y ha dado como resultado una verdadero transformación en la economía mundial y sus mercados correspondientes. Esto ha generado un incremento de la inestabilidad, volatilidad y riesgos, principalmente en los mercados financieros, dichos factores se ven reflejados en las principales variables que generan decisión, como lo son los precios de ciertos activos, la tasa de interés y el tipo de cambio.

En situaciones como estas surgen instrumentos como respuesta para hacer frente a la inestabilidad y el riesgo que se presentan en los mercados. Producto de ello en los últimos años el sistema financiero se ha sometido a cambios trascendentales e innovadores que tienen gran influencia en su funcionamiento. Dichos instrumentos financieros de cobertura de riesgo son los llamados derivados financieros.

Los derivados son de gran utilidad en la administración de riesgo, ya que pueden reducir en gran medida los costos generados de estos. También permiten a los inversionistas gestionar los riesgos con menor incertidumbre y mayor precisión, y aunque pueden ser usados con fines especulativos convirtiéndose en instrumentos financieros muy riesgosos, ya que pueden moverse en mayor medida que los mercados en activos subyacentes, lo que genera enormes fluctuaciones tanto en ganancias como en pérdidas. Esto da origen a la necesidad de tener buenos controles al negociar los instrumentos financieros.

Los derivados financieros asumen su valor dependiendo del activo subyacente, dicho activo puede ser un bien físico como el maíz, el petróleo, el oro, entre otros; donde el precio del derivado varía

según las expectativas de alza o escases que rodean a este activo. También pueden ser sobre un bien intangible como lo son las acciones y los índices. (J. Rodríguez. Los Derivados Financieros: Historia, Teorías, Datos y el Caso Peruano. 2012)

Los derivados se clasifican en Forwards, Futuros y opciones y cinco productos financieros:

➤ FORWARD:

Es el instrumento derivado más antiguo que existe, también conocido como un contrato a plazo. Este contrato obliga a las dos partes (Comprador y Vendedor) a comprar o vender un determinado activo en una fecha a futuro específica y a un determinado precio. (Salgador, Contratos Forwards, 2010)

➤ FUTUROS:

Un contrato a futuro es similar a un contrato Forward, pero estandarizado y negociable en un mercado organizado, es decir, es un contrato mucho más detallado que un Forward, ya que incluye la cantidad del activo, calidad, fecha de vencimiento, y forma de entrega. Este tipo de contrato cuenta con márgenes y capital que respalda su integridad. (Salgador, Contratos Forwards, 2010)

➤ OPCIÓN:

Contrato que otorga al comprador la opción más no la obligación para comprar o vender una cantidad determinada del activo subyacente a un precio fijo, a una fecha fija, pagando un precio por este producto llamado prima. Por otra parte el vendedor de la opción tiene la obligación de comprar el activo al precio y a la fecha pactada, y por asumir esta obligación recibe como beneficio la prima. (María E. Serrano & Jaime Á. Rico, Modelos Matemáticos para la Valoración de Opciones, Unab 2010)

1.1 DEFINICIÓN DE UN DERIVADO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DERIVADO CLIMÁTICO

Cuando hablamos de derivados, nos referimos a contratos en los que el comprador y vendedor hacen un pacto de entrega de algún activo (subyacente), a un precio y una fecha futura determinada.

El valor del derivado puede depender principalmente del valor futuro del subyacente, para hallar este valor es necesario mirar una serie de variables y comportamientos.

Para calcular la prima de una opción de compra europea sobre una acción sin dividendos debemos hacer referencia al precio de mercado de dicha acción hoy, en un opción de compra sobre un índice climático es necesario analizar el comportamiento de dicho índice para poder llegar a una conclusión de cómo puede ser su comportamiento futuro.

$$PAY\ OFF(sobre\ accion) = MAX(St - K, 0)$$

$$PAY\ OFF(sobre\ indice\ climatico) = [MAX(It - K, 0)] * h$$

Fuente: TABLADO, L. Á. (10 de Septiembre de 2012). *Weather Derivates*. Universidad de León.

Dónde:

K: es el valor establecido como strike en el contrato

St: es el precio de la acción al momento de ejercicio

It: es el indicador climático para el período al cual hace referencia el contrato

H: es la cantidad de unidades monetarias que se pagarán por la diferencia existente entre el valor real del índice y el pactado como strike.

Los inversionistas usan los derivados para diferentes objetivos, el más común es que los derivados sean usados para cubrirse de riesgo ya que esa fue la razón principal por la que se crearon, pero también pueden ser usados para especular, analizar posibles precios futuros del subyacente o para generar rentabilidad por medio del arbitraje.

Para que pueda estructurarse un derivado climático será entonces necesario definir:

- Tipo de contrato
- Período
- Índice climático sobre el que se estructura.
- Estación meteorológica que se tomará como referencia para la medición del valor del índice.
- Relación monetaria entre el indicador y el pay-off.
- Valor definido como strike para el caso de un call o un put o definición de un “índice de ejercicio” para el caso de un swap.

Cuando el contrato se estructura entre partes (Over the Counter, comúnmente denominado OTC) ambas definen, conforme a sus necesidades, cada una de las características.

CONTRATOS

Los derivados climáticos se estructuran de manera similar a otro derivado financiero, pero es obligatorio definir el objetivo principal sobre el cual se basa el derivado, para empezar a estructurar

el contrato que se va a utilizar y la posición que se va a tomar. Es posible mencionar los siguientes contratos básicos:

$$CALL = [MAX(I_t - K, 0)] * h$$

$$PUT = [MAX(K - I_t, 0)] * h$$

Fuente: TABLADO, L. Á. (10 de Septiembre de 2012). *Weather Derivates*. Universidad de León.

TIPOS DE INDICES:

Uno de los índices más usuales son los de días críticos, estos se refieren a los días del periodo en el cual ocurre el suceso meteorológico.

Ejemplo de este índice puede ser las precipitaciones, las cuales son las acumuladas dentro el periodo establecido.

ÍNDICES DE PRECIPITACIONES ACUMULADAS

Se definen como la sumatoria de las precipitaciones diarias del período establecido (Semana, mes, temporada), se definen estructura de la siguiente manera:

$$X = \sum_{i=1}^{nd} P_i$$

Fuente: (2012) “Derivados climáticos: valorización de opciones sobre precipitaciones” Universidad de Chile - PATRICIO HENANDEZ VEGA

INDICES DE TEMPERATURA MEDIA PROMEDIO

Estos son los más usados en el mercado de derivados climáticos.

$$CDD = \sum_{I=1}^N \text{MAX}(0, T_i - 18C)$$

$$HDD = \sum_{I=1}^N \text{MAX}(0, 18C - T_i)$$

Fuente: TABLADO, L. Á. (10 de Septiembre de 2012). *Weather Derivates*. Universidad de León.

CDD: Cooling Degree Days.

HDD: Heating Degree Days

18C: 18 grados centígrados

N= días del periodo del contrato

T = temperatura promedio

18°C (strike) = valor usado como strike, se puede usar cualquier temperatura como referencia.

2. EL CARBÓN

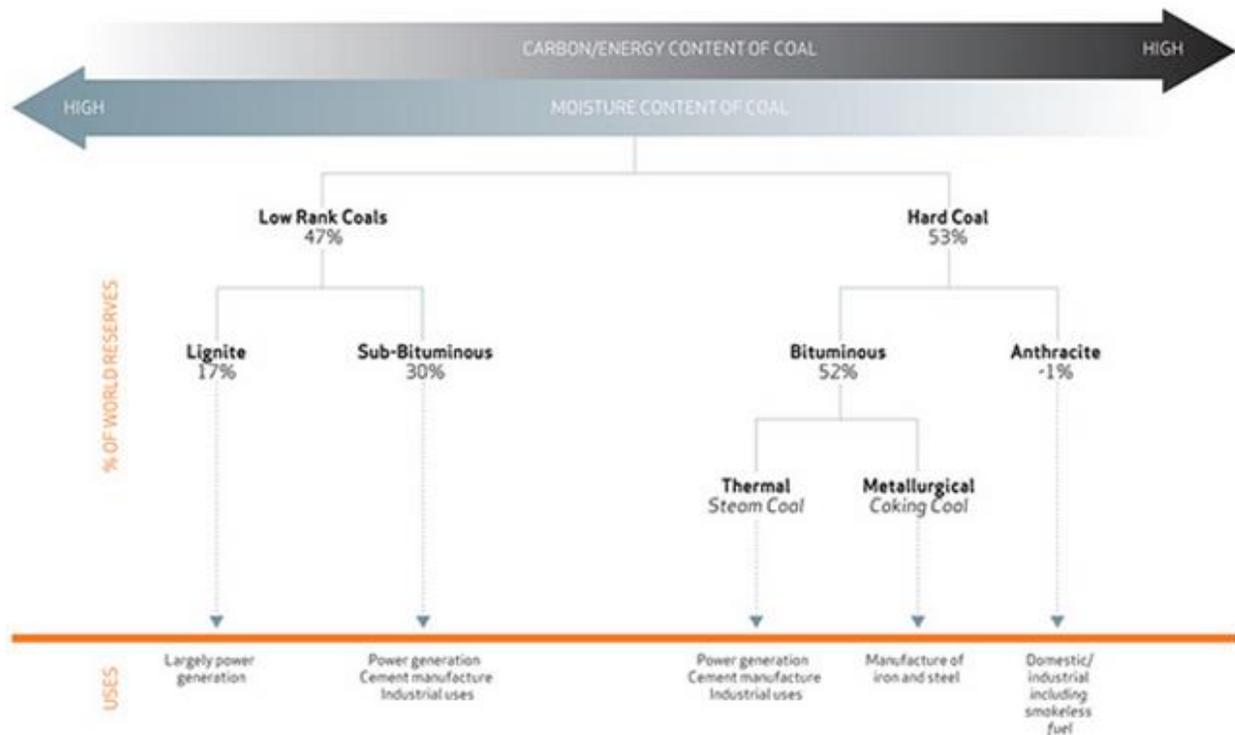
El carbón es un combustible, sedimentario, roca orgánica, compuesta de carbono, hidrógeno y oxígeno. Se desarrolla a partir de la vegetación, que se ha formado entre otros tipos de roca y es cambiado por los combinados efectos de la presión y el calor a través de miles de años para formar las capas de carbón.

El carbón es el recurso no renovable más abundante que el petróleo o el gas, se estima que las reservas mundiales pueden durar alrededor de 109 años.

A través de los años se ha demostrado los diferentes usos del carbón en la vida cotidiana.

2.1 USOS DEL CARBÓN Y CLASIFICACIÓN

El carbón principalmente es utilizado para la generación de electricidad, la producción de acero, fabricación de cemento y como un tipo de combustible líquido. El carbón se clasifica en carbón de bajo rango (Mayor humedad, pero menor contenido de energía) y carbón de alto rango (Menor humedad, pero mayor contenido de energía), donde cada uno se subdivide de acuerdo a su tipo de carbono.



Fuente: <http://www.worldcoal.org/coal/what-is-coal/>, Clasificación del carbón y reservas en el mundo.

Cada tipo de carbón tiene diferentes usos, entre los más destacados son:

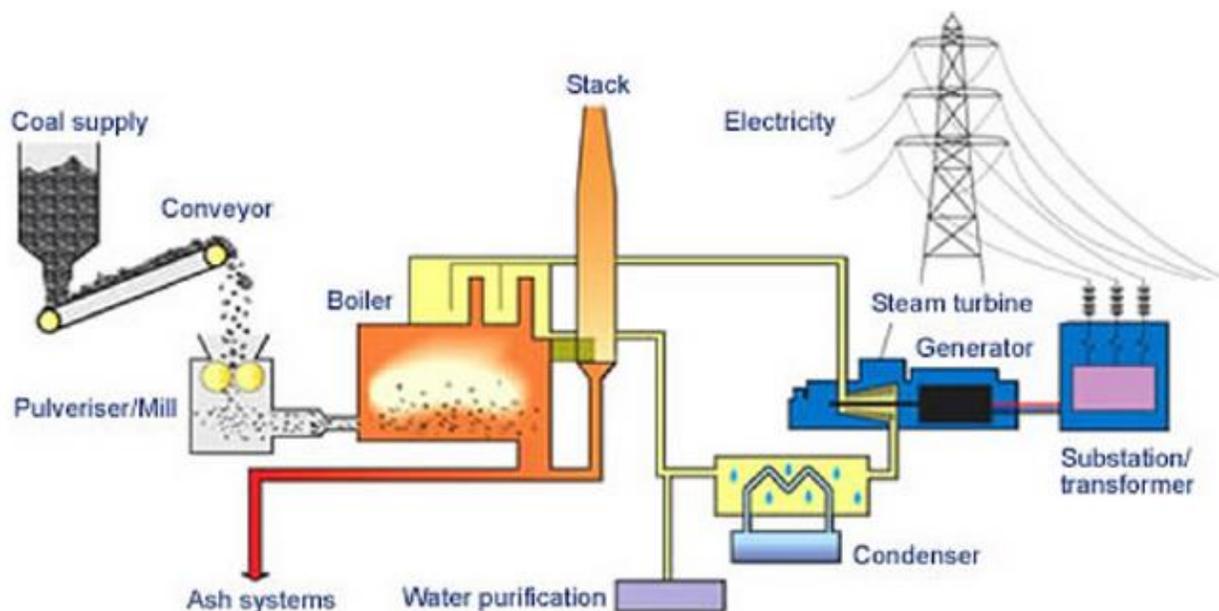
Carbón de vapor (Steam Coal), también conocido como carbón térmico: principalmente es utilizado para la generación de electricidad.

El carbón Coque (Coking Coal), también conocido como carbón metalúrgico: tiene su principal uso para la producción de hierro y acero.

2.2 PROCESO DE CONVERSIÓN DEL CARBÓN EN ELECTRICIDAD:

El carbón pasa primero a un contenedor, el cuál luego es transportado en una banda y llevado a un pulverizador, que se muele hasta tener un polvo fino, lo que permite que incremente la superficie de su área y esto hace que se queme más ligeramente. En los sistemas PCC (combustión de carbón

pulverizado), el carbón ya hecho polvo es soplado en la cámara de combustión de una caldera donde se incinera a altas temperaturas (ver diagrama a continuación). Los gases ardientes y la energía del calor que es producido convierten el agua (Boiler, tubos de revestimiento de la caldera) en vapor.



Fuente: <http://www.worldcoal.org/coal/uses-of-coal/coal-electricity/>, *Diagrama de Procesos de Conversión del carbón en electricidad.*

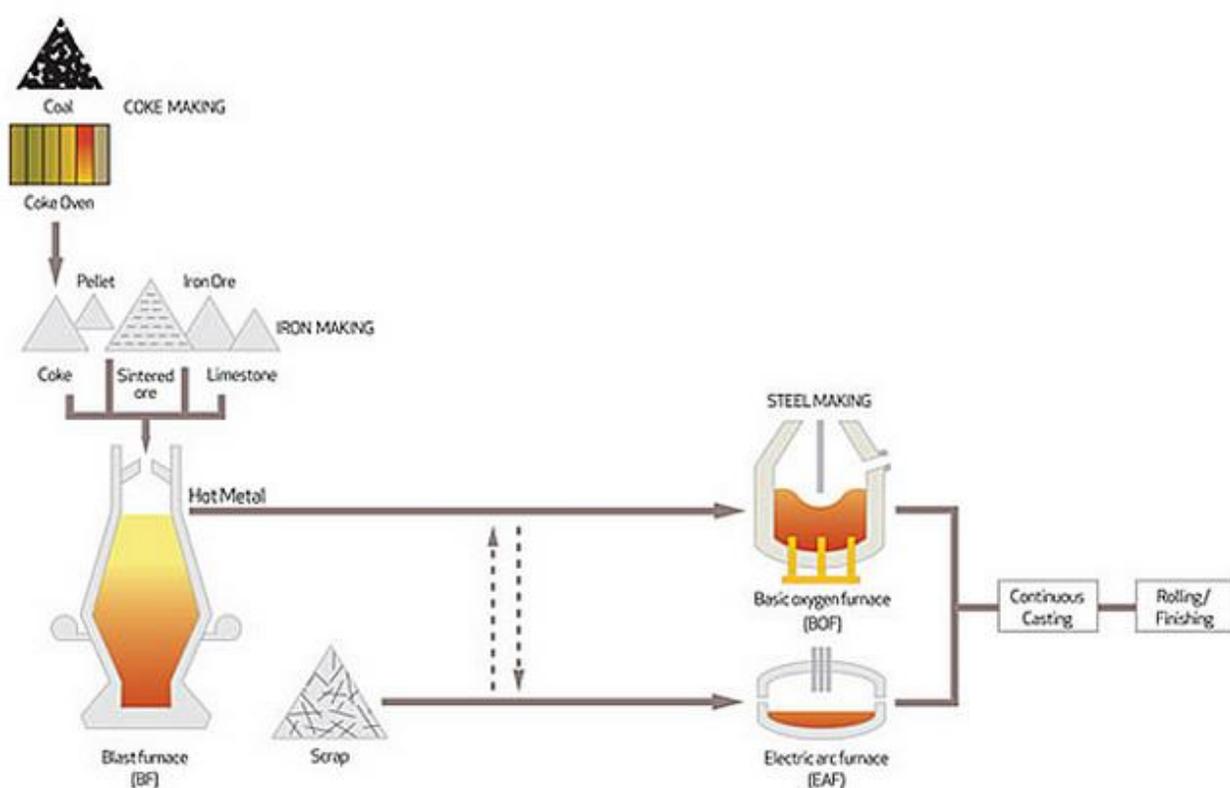
El vapor de alta presión se pasa a una turbina que alberga miles de cuchillas tipo propulsor. El vapor empuja las cuchillas lo cual hace que el eje de la turbina gire a velocidades muy altas. Un generador está montado en un extremo del eje de la turbina y posee numerosas bobinas de cable. Se genera electricidad cuando éstas giran de manera rápida en un fuerte campo magnético. Después de pasar a través de la turbina, se condensa el vapor y se devuelve a la caldera para ser calentado de nuevo.

La electricidad que se genera se convierte en los voltajes más altos (hasta 400.000 voltios) utilizados para la transmisión económica, eficiente a través de las redes de la línea eléctrica.

Cuando se acerca al punto de consumo, tales como nuestros hogares, la electricidad se transforma a los sistemas de tensión más seguras 100-250 utilizados en el mercado interno.

2.3 PROCESO DE CONVERSIÓN DEL CARBÓN COQUE EN ACERO

La producción mundial de acero depende de carbón. 70% del acero producido hoy utiliza carbón. El carbón metalúrgico - o carbón de coque - es un ingrediente vital en el proceso de fabricación de acero. La producción mundial de acero crudo fue de 1,4 millones de toneladas (Mt) en 2010. Alrededor de 721 millones de toneladas (Mt) de carbón de coque se usaron en la producción de acero. (Association, 2014)



Fuente: <http://www.worldcoal.org/coal/uses-of-coal/coal-steel/> Diagrama de Procesos de Conversión del carbón en Acero.

2.4 CARBÓN EN EL MUNDO

La mayor parte del mercado donde se produce el carbón en el mundo es en Asia, que actualmente representa más del 67% de la producción mundial de carbón (Ver tabla 1); aunque China es responsable de la mayor proporción de esto.

2.4.1 PAÍSES PRODUCTORES DE CARBÓN (2013E)

Los países que más producen carbón en el mundo son China (3561 Mt), Estados Unidos (904 Mt), India (631 Mt), Indonesia (489 Mt). (Ver tabla 1)

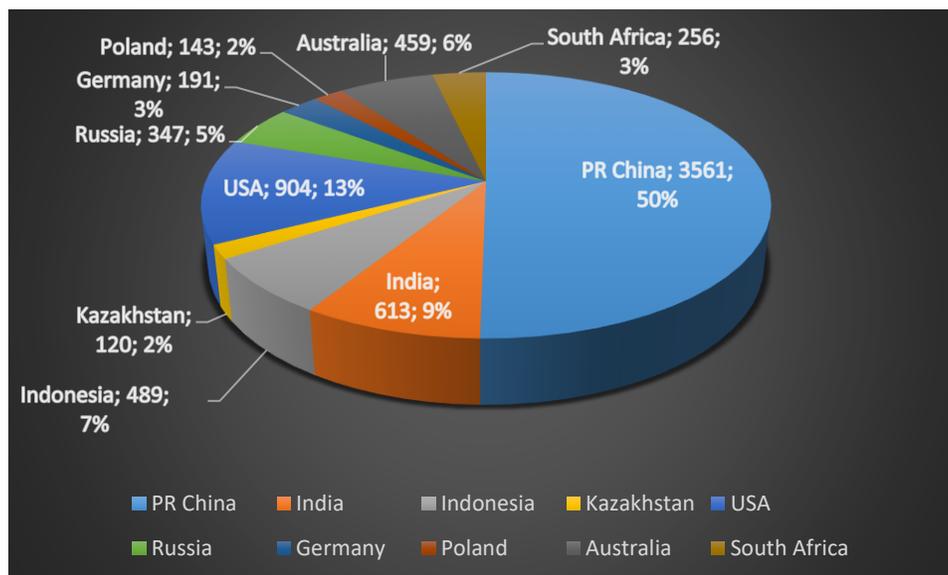
Tabla 1. PAISES PRODUCTORES DE CARBÓN (2013E)

Continente	Países Productores	Carbón (Mt)	Participación	Partic. Cont.
ASIA	PR China	3561	50,275%	67,53%
	India	613	8,655%	
	Indonesia	489	6,904%	
	Kazakhstan	120	1,694%	
AMERICA	USA	904	12,763%	12,76%
EUROPA	Russia	347	4,899%	9,61%
	Germany	191	2,697%	
	Poland	143	2,019%	
OCEANIA	Australia	459	6,480%	6,48%
AFRICA	South Africa	256	3,614%	3,61%
Total		7.083,00	100%	100,00%

(E = estimado) (Mt = Millones de toneladas)

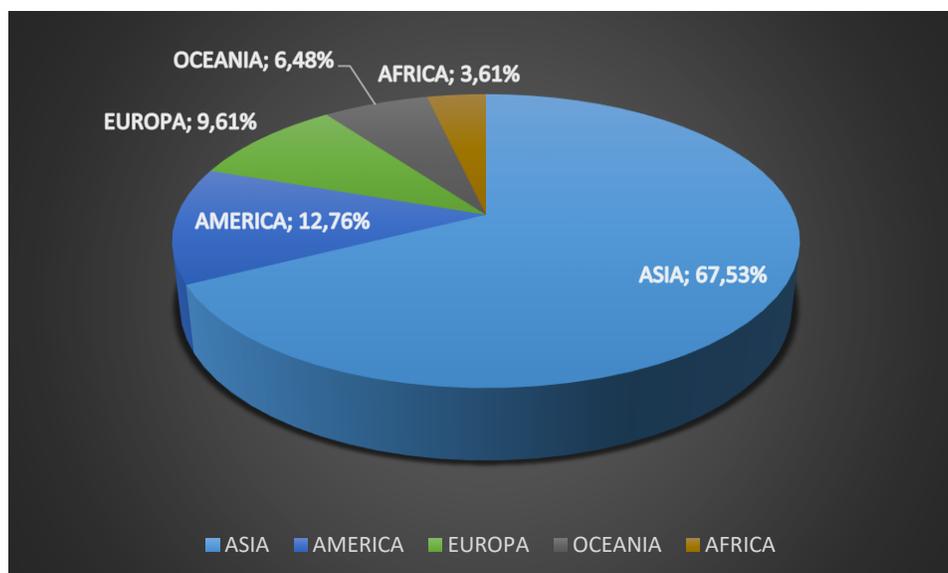
Fuente: *Elaboración propia.* Tomado de International Energy Agency (IEA) Coal Information 2014, BP Statistical Review of World Energy 2014

Gráfica 1. PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN DE LOS PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE CARBÓN.



Fuente: Elaboración propia. Tomado de *International Energy Agency (IEA) Coal Information 2014, BP Statistical Review of World Energy 2014*

Gráfica 2. PARTICIPACIÓN DE LOS PAÍSES PRODUCTORES POR CONTINENTE.



Fuente: Elaboración propia. Tomado de *International Energy Agency (IEA) Coal Information 2014, BP Statistical Review of World Energy 2014*

2.4.2 PAÍSES PRODUCTORES DE CARBÓN TÉRMICO Y CARBÓN COQUE (2013E)

Los países de mayor producción de carbón térmico son China (3034Mt), Estados Unidos (756Mt), India (526 Mt), Indonesia (486Mt), Sudáfrica (255Mt); mientras que Colombia ocupa el noveno puesto con 81Mt. Para el carbón coque los países de mayor producción son China (527Mt), Australia (158Mt), Estados Unidos (78Mt), Rusia (73Mt), entre otros. (Ver tabla 2)

Tabla 2. PAÍSES PRODUCTORES DE CARBÓN TÉRMICO Y CARBÓN COQUE (2013E)

PR China	3034Mt	Australia	239Mt	PR China	527Mt	Canada	34Mt
USA	756Mt	Russia	201Mt	Australia	158Mt	Mongolia	20Mt
India	526Mt	Kazakhstan	103Mt	USA	78Mt	Ukraine	20Mt
Indonesia	486Mt	Colombia	81Mt	Russia	73Mt	Kazakhstan	12Mt
South Africa	255Mt	Poland	65Mt	India	42Mt	Poland	12Mt

(E = estimado) (Mt = Millones de toneladas)

Fuente: International Energy Agency (IEA) Coal Information 2014, BP Statistical Review of World Energy 2014

2.4.3 PAÍSES EXPORTADORES DE CARBÓN (2013E)

Los países que mayor exportan carbón en el mundo son Indonesia, Australia, Rusia y Estados Unidos. En el mismo año Colombia ocupaba el quinto puesto como mayor exportador de carbón con 74 Millones de toneladas (estimadas), de las cuales setenta y tres millones de toneladas correspondían a carbón térmico y el resto a carbón Coque. (Ver tabla 3)

Tabla 3. PAÍSES EXPORTADORES DE CARBÓN (2013E)

	Total of Which (Mt)	Steam	Coking	Steam (%)	Coking (%)	Coal (%) Country
Indonesia	426	423	3	46,03%	1,10%	35,74%
Australia	336	182	154	19,80%	56,41%	28,19%
Russia	140	118	22	12,84%	8,06%	11,74%
USA	107	47	60	5,11%	21,98%	8,98%
Colombia	74	73	1	7,94%	0,37%	6,21%
South Africa	72	72	0	7,83%	0,00%	6,04%
Canada	37	4	33	0,44%	12,09%	3,10%
Total	1192	919	273	100%	100%	100%

(E = estimado) (Mt = Millones de toneladas)

Fuente: Elaboración propia. Tomado de *International Energy Agency (IEA) Coal Information 2014, BP Statistical Review of World Energy 2014*

2.4.4 PAÍSES IMPORTADORES DE CARBÓN (2013E)

Existen países que no poseen los recursos naturales energéticos suficientes para cubrir su necesidad de energía, y por lo tanto se suplen de energía a través de la importación para ayudar a satisfacer sus necesidades. Como son el caso de China, Japón, China Taipéi y Corea del Sur, por ejemplo, importan grandes cantidades de carbón térmico para la producción de energía eléctrica y carbón coquizable para la producción de hierro y acero. (Ver Tabla 4)

Tabla 4. PAÍSES IMPORTADORES DE CARBÓN (2013E)

	Total of Which (Mt)	Steam	Coking	Steam (%)	Coking (%)	Coal (%) Country
PR China	327	250	77	32,18%	34,84%	32,77%
Japan	196	142	54	18,28%	24,43%	19,64%
India	180	142	38	18,28%	17,19%	18,04%
South Korea	126	95	31	12,23%	14,03%	12,63%
Chinese Tapei	68	61	7	7,85%	3,17%	6,81%
Germany	51	43	8	5,53%	3,62%	5,11%
UK	50	44	6	5,66%	2,71%	5,01%

Total	998	777	221	100%	100%	100%
--------------	------------	------------	------------	-------------	-------------	-------------

(E = estimado) (Mt = Millones de toneladas)

Fuente: Elaboración propia. Tomado de *International Energy Agency (IEA) Coal Information 2014, BP Statistical Review of World Energy 2014*

2.4.5 USO DEL CARBÓN EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD (2012)

El carbón es el principal combustible utilizado para la producción de energía eléctrica en el mundo. En 2013 se utilizó carbón para generar más del 40% de la electricidad mundial. Los países que más utilizan el carbón en la generación de electricidad a nivel mundial son Mongolia, Sudáfrica, Polonia y China, entre otros. (Ver Tabla 5)

Tabla 5. USO DEL CARBÓN EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD (2012)

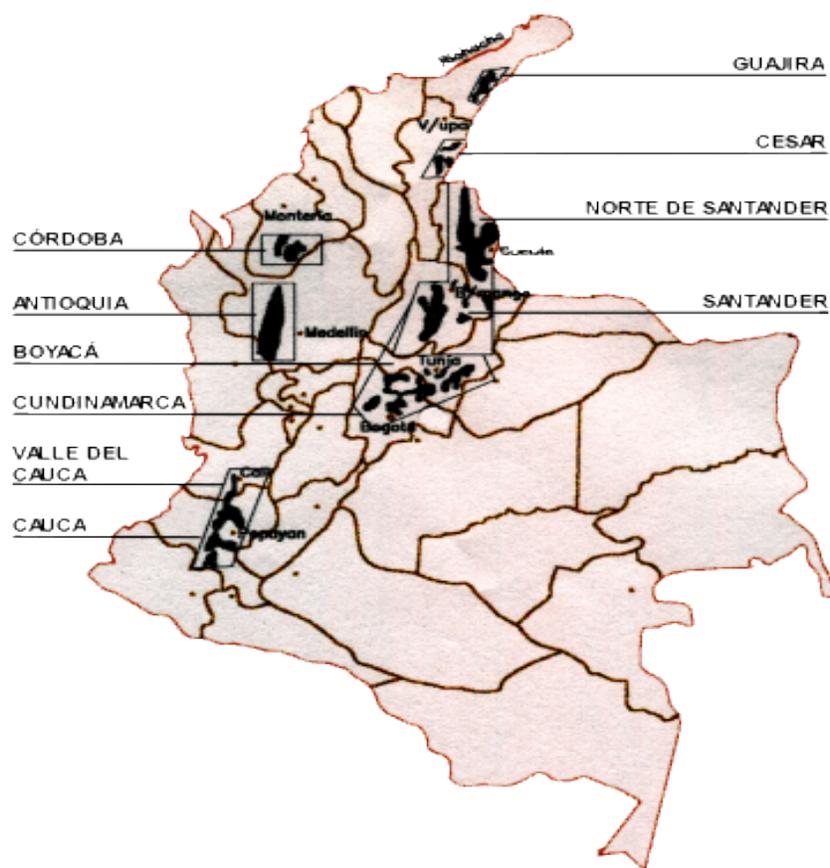
Generación de Electricidad a través del Carbón Térmico (%)					
Mongolia	95%	India	71%	Germany	44%
South Africa	93%	Australia	69%	USA	38%
Poland	83%	Israel	61%	UK	39%
PR China	81%	Indonesia	48%	Japan	21%

Fuente: Elaboración propia. Tomado de *International Energy Agency (IEA) Coal Information 2014, BP Statistical Review of World Energy 2014*

2.5 CARBÓN EN COLOMBIA

Los Departamentos de mayor producción de carbón en Colombia son la Guajira y el Cesar; los dos departamentos representan más del 80% de la producción nacional; (Ver tabla 8). Adicionalmente, se presenta las zonas del país en donde se realiza explotación del carbón y sus principales reservas. (Gráfica 3, Tabla 6)

Gráfica 3. ZONAS DE EXPLOTACIÓN DEL CARBÓN.



Fuente UPME: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/areas/zonas/indice.htm UPME, Carbón, Áreas y zonas.

Tabla 6. ZONAS CARBONÍFERAS DE COLOMBIA, MEDIDAS EN MILLONES DE TONELADAS (MT)

ZONAS CARBONIFERAS	RECURSOS Y RESERVAS		TIPO DE CARBON
	MEDIDAS	INDICADAS	
Antioquia	90	225	Térmico
Boyacá	170.4	682.7	Térmico y Coquizable
Cauca	16.4	66.8	Térmico
Cesar	1933	589	Térmico
Córdoba	381	257	Térmico
Cundinamarca	241.9	538.7	Térmico y Coquizable
Guajira	90	-	Térmico
N. Santander	68	101	Térmico y Coquizable
Santander	57.1	114	Térmico y Coquizable
Valle del Cauca	20.1	22.4	Térmico
TOTAL PAIS	6647.9	2596.6	

Fuente UPME: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/areas/zonas/indice.htm UPME, Carbón, Áreas y zonas.

En Colombia, la producción de carbón ha aumentado significativamente, desde el año 1940 que comenzó con 1.150.000 Mt (millones de toneladas) hasta llegar a más de 85.000.000 Mt finalizando el año 2013. (Ver tabla 7)

Tabla 7. HISTÓRICO DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN EN COLOMBIA (MILES DE TONELADAS)

Año	Total										
1940	1.150	1953	1.230	1966	3.100	1979	3.778	1992	21.900	2005	59.675
1941	1.150	1954	1.500	1967	3.100	1980	3.902	1993	21.713	2006	66.192
1942	1.150	1955	1.850	1968	3.100	1981	3.990	1994	22.665	2007	69.902
1943	1.150	1956	2.000	1969	3.317	1982	4.422	1995	25.740	2008	73.502
1944	1.150	1957	2.580	1970	2.500	1983	5.053	1996	29.564	2009	72.807
1945	1.150	1958	2.300	1971	2.800	1984	6.637	1997	32.742	2010	74.350
1946	1.150	1959	2.500	1972	2.900	1985	8.974	1998	33.561	2011	85.803
1947	1.150	1960	2.600	1973	3.360	1986	10.737	1999	32.754	2012	89.024
1948	1.150	1961	2.800	1974	3.600	1987	14.594	2000	38.242	2013	85.496
1949	1.178	1962	3.000	1975	3.800	1988	15.101	2001	43.911	2014*	47.327
1950	1.180	1963	3.200	1976	3.647	1989	18.902	2002	39.484		
1951	1.200	1964	3.000	1977	3.830	1990	21.472	2003	50.028		
1952	1.230	1965	3.100	1978	3.809	1991	20.031	2004	53.888		

**Segundo Trimestre, Fuente SIMCO:*

<http://www.simco.gov.co/simco/Estadísticas/Producción/tabid/121/Default.aspx> INGEOMINAS, Servicio Geológico Colombiano y Agencia Nacional de Minería. (Con base en regalías)

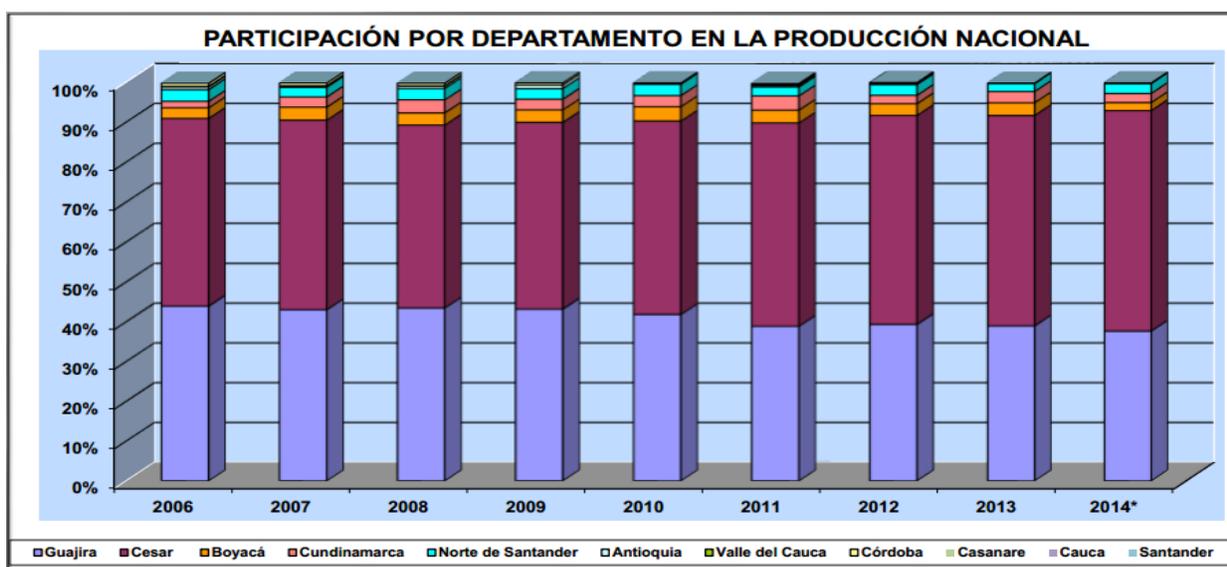
Tabla 8. PRODUCCIÓN DE CARBÓN POR DEPARTAMENTO (MILES DE TONELADAS)

DEPARTAMENTO	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014*
Guajira	29.073	30.069	31.940	31.431	31.098	33.356	35.093	33.296	17.816
Cesar	31.118	33.187	33.676	34.050	36.016	43.688	46.679	45.069	26.144
Boyacá	1.756	2.275	2.231	2.276	2.676	2.754	2.625	2.723	946
Norte de Santander	1.931	1.691	2.085	1.938	2.117	1.902	2.396	1.687	1.156
Cundinamarca	1.074	1.785	2.406	1.942	2.056	3.063	1.700	2.408	1.082
Antioquia	428	230	404	656	149	334	155	109	54
Santander	157	116	178	117	136	202	92	139	60
Córdoba	512	481	493	392	100	312	224	16	32
Cauca	29	18	10	5	1	84	26	41	14
Casanare	0	0,1	0,1	0,6	0	0,5	0,7	0,8	2
Valle del Cauca	113	50	79	0	0	109	32	7	20
Total	66.192	69.902	73.502	72.807	74.350	85.803	89.024	85.496	47.327

**Segundo Trimestre, Fuente SIMCO:*

<http://www.simco.gov.co/simco/Estadísticas/Producción/tabid/121/Default.aspx> INGEOMINAS, Servicio Geológico Colombiano y Agencia Nacional de Minería. (Con base en regalías)

Gráfica 4. PRODUCCIÓN DE CARBÓN POR DEPARTAMENTO (%)



**Segundo Trimestre, Fuente SIMCO:*

<http://www.simco.gov.co/simco/Estadísticas/Producción/tabid/121/Default.aspx> INGEOMINAS, Servicio Geológico Colombiano y Agencia Nacional de Minería. (Con base en regalías)

2.5.1 PRODUCCIÓN POR TIPO DE CARBÓN

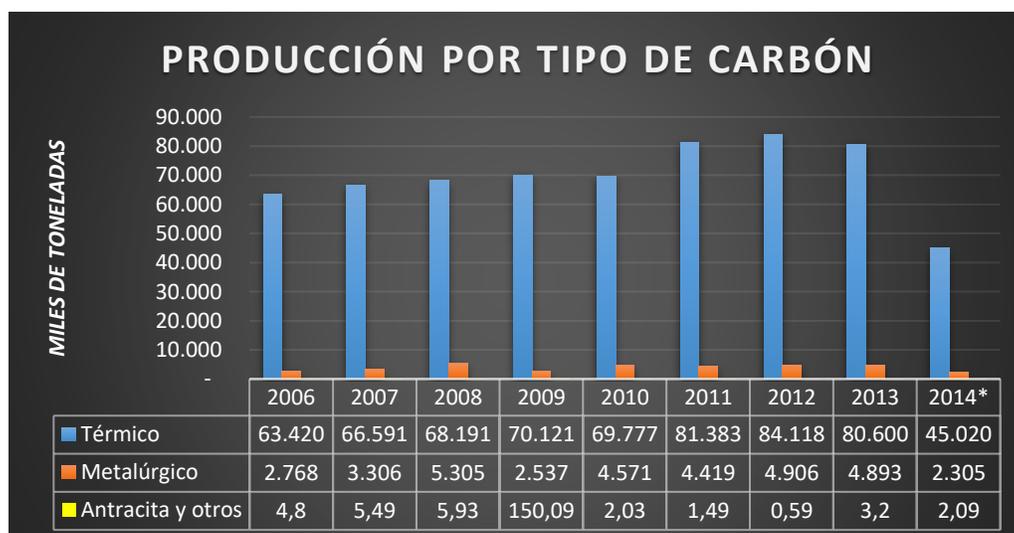
El carbón que más se produce en Colombia es el carbón térmico seguido del carbón de coque o Metalúrgico y a través de los años ha aumentado la producción de carbón. (Ver tabla 9).

Tabla 9. PRODUCCIÓN POR TIPO DE CARBÓN

Miles de Toneladas							
Año	Térmico	Metalúrgico	Antracita y otros	TOTAL	% Térmico	% Metalúrgico	% Antracita
2006	63.420	2.768	4,8	66.192,80	95,81%	4,18%	0,007%
2007	66.591	3.306	5,49	69.902,49	95,26%	4,73%	0,008%
2008	68.191	5.305	5,93	73.501,93	92,77%	7,22%	0,008%
2009	70.121	2.537	150,09	72.808,09	96,31%	3,48%	0,206%
2010	69.777	4.571	2,03	74.350,03	93,85%	6,15%	0,003%
2011	81.383	4.419	1,49	85.803,49	94,85%	5,15%	0,002%
2012	84.118	4.906	0,59	89.024,59	94,49%	5,51%	0,001%
2013	80.600	4.893	3,2	85.496,20	94,27%	5,72%	0,004%
2014*	45.020	2.305	2,09	47.327,09	95,13%	4,87%	0,004%

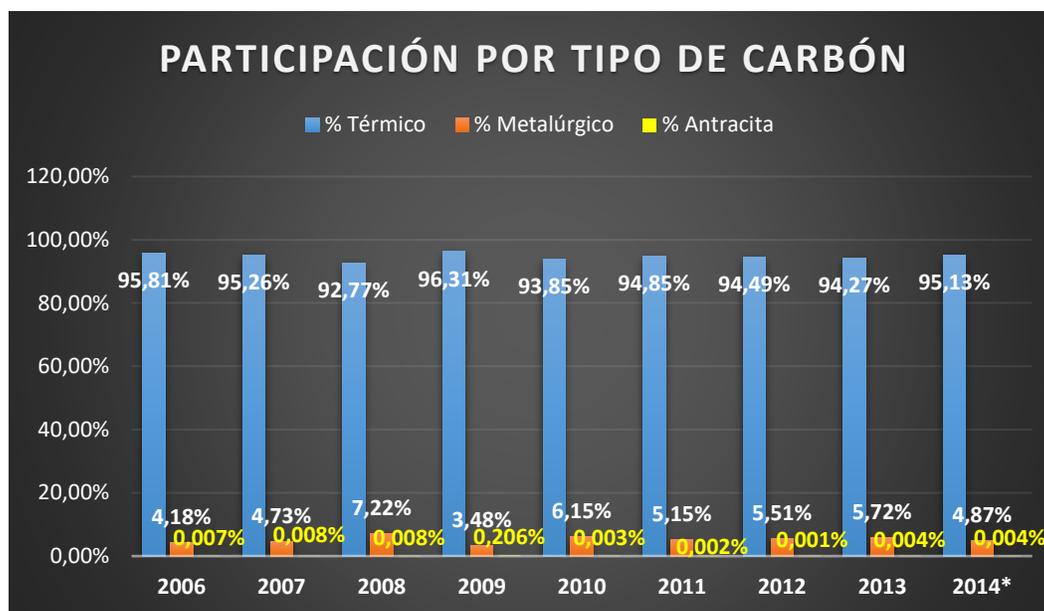
**Segundo Trimestre, Fuente Elaboración propia. Tomado de SIMCO: <http://www.simco.gov.co/simco/Estadísticas/Producción/tabid/121/Default.aspx> INGEOMINAS, Servicio Geológico Colombiano y Agencia Nacional de Minería. (Con base en regalías)*

Gráfica 5. PRODUCCIÓN POR TIPO DE CARBÓN



**Segundo Trimestre, Fuente Elaboración propia.* Tomado de SIMCO:
<http://www.simco.gov.co/simco/Estadísticas/Producción/tabid/121/Default.aspx> INGEOMINAS,
 Servicio Geológico Colombiano y Agencia Nacional de Minería. (Con base en regalías)

Gráfica 6. PARTICIPACIÓN POR TIPO DE CARBÓN



**Segundo Trimestre, Fuente Elaboración propia.* Tomado de SIMCO:
<http://www.simco.gov.co/simco/Estadísticas/Producción/tabid/121/Default.aspx> INGEOMINAS,
 Servicio Geológico Colombiano y Agencia Nacional de Minería. (Con base en regalías)

2.5.2 PRODUCCIÓN POR TIPO DE MINERÍA

En Colombia existen dos tipos de minería para la producción de carbón, la primera es la minería a Cielo Abierto que consiste en la explotación del mineral en la superficie del lote, mientras que la minería subterránea se desarrolla debajo de la superficie. La Producción de carbón a Cielo Abierto representa más del 90% de la producción nacional y la otra, el restante. (Ver tabla 10)

Tabla 10. PRODUCCIÓN POR TIPO DE MINERÍA

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014*
Cielo abierto (miles de ton)	60.861	63.853	66.287	65.990	67.350	77.231	82.069	78.504	44.050
Subterránea (miles de ton)	5.331	6.049	7.215	6.817	7.000	8.573	6.955	6.992	3.277
% Producción Cielo Abierto	91,95	91,19	90,18	90,64	90,59	90,01	92,19	91,82%	93,08%
% Producción Subterránea	8,05	8,65	9,82	9,36	9,41	9,99	7,81	8,18%	6,92%

**Segundo Trimestre, Fuente SIMCO:*

<http://www.simco.gov.co/simco/Estadísticas/Producción/tabid/121/Default.aspx> INGEOMINAS, Servicio Geológico Colombiano y Agencia Nacional de Minería. (Con base en regalías)

2.5.3 ALMACENAMIENTO DEL CARBÓN

Uno de los aspectos más importantes es el almacenamiento del carbón. El carbón es almacenado en grandes cantidades y durante periodos extensos ya que su uso industrial es muy necesario. Los amplios almacenamientos de carbón son llamados parques y se normalmente son situados al aire libre, estando expuestos a las inclemencias meteorológicas, lo cual influye en las propiedades del carbón. El tamaño que va a tener el parque depende de la situación geográfica del mismo (proximidad de la fuente productora del carbón), el medio de transporte utilizado, el Clima (este factor también puede afectar al transporte), proceso de producción y fabricación al que se destina, debido a las puntas de demanda que pueda presentar el proceso para el que es necesario el carbón.

COMBUSTIÓN DEL CARBÓN DURANTE SU ALMACENAMIENTO

El carbón que se almacena a la intemperie está expuesto a sufrir cambios los cuales generen deterioro, por causa del oxígeno del aire y la humedad ambiental, esta última daña el carbón e

incide en la temperatura de la pila. El oxígeno reacciona, primero a bajas temperaturas. Esto genera cambios en las propiedades del carbón, Esto permite que aumenta en lo siguiente: el peso, su contenido en oxígeno, la temperatura de ignición, la higroscopicidad, su solubilidad en sales cáusticas, la solubilidad en alcohol; mientras que disminuye el contenido en hidrógeno, el poder calorífico, el poder coquizante y el tamaño medio de granulometría.

CONDICIONES ÓPTIMAS EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBON

Lugar: El suelo debe estar nivelado, no se deben presentar grietas y con buen sistema de drenado.

Tamaño y forma: Entre más bajo sea el rango, más baja deberá ser la pila, más diminuta y con una mínima proporción de finos. Se debe evitar la separación natural por tamaños gruesos, para que no se formen los ‘tiros’.

Humedad: El carbón seco no se debe juntar con el carbón húmedo.

Procedencia: Los carbones que vengan de otras procedencias se deben apilar por separado.

Ventilación: Las pilas deben estar con profundidades bajas, con salida de gases, para permitir el paso del aire.

Temperatura: Las pilas deben estar en pocas profundidades, y debe haber termómetros cada cierta distancia para controlar el aumento de la temperatura.

Calor: Se debe tener precaución con el calor del medio ambiente y con el calor que se desprenda.

3. RIESGO CLIMATICO Y SU EFECTO EN LA PRODUCCION DE CARBON.

3.1 EL CLIMA EN COLOMBIA

La línea del Ecuador que atraviesa al territorio colombiano permite que tenga un clima tropical que normalmente se ha manteniendo a una temperatura constante en el año, pero presenta una gran variedad de condiciones climáticas.

Factores:

El Clima en Colombia viene establecido por los aspectos geográficos y atmosféricos como las precipitaciones, la intensidad de radiación solar, la temperatura, su humedad atmosférica y la altitud, entre otros. Estos factores permiten crear diversos climas y microclimas, que van desde los más cálidos (Mayor de 30°C) en las costas y llanuras hasta lo más helado (frio), temperaturas bajo 0°C en los picos de las montañas de la Cordillera de los Andes y la Sierra Nevada de Santa Marta.

Tipos de clima:

- Para las zonas de la Orinoquía, Bolívar, norte de Huila y centro del Valle del Cauca, surgen los climas tipo sabana, que se caracteriza por tener una estación seca y lluviosa.
- Para la región del Pacifico colombiano (Amazonas, cuentas de los ríos Magdalena, Catatumbo, entre otros), se presentan Climas de superhumedad de selva, se caracteriza por tener altas precipitaciones con pocos cambios en la temperatura y su alta biodiversidad.
- Para las zonas de Caquetá, Vaupés, parte de Antioquia y Córdoba, se presentan Climas húmedos lluviosos, lo que la caracteriza por tener precipitaciones menores, con altos cambios de temperaturas y una vegetación de bosque de menor proporción.

- Para la región del Caribe (La Guajira, Atlántico, Bolívar, Cesar, Sucre), se caracteriza por tener un Clima desértico, con temperaturas muy elevadas y lluvias escasas, con poca vegetación.
- El Clima que prevalece en el País es cálido y húmedo.

Elementos del clima:

Los elementos del clima hacen referencia al conjunto de componentes que caracterizan el tiempo atmosférico y que interactúan entre sí en las capas inferiores de la atmósfera, conocida como tropósfera.

Los principales elementos del clima y también los más conocidos, son:

- Temperatura: Hace referencia a la energía calórica que se acumula en el aire, se mide en grados.
- Precipitaciones: Es el agua que cae sobre la superficie terrestre, que se presenta en forma sólida o líquida.
- Humedad: Es la cantidad de vapor de agua que puede almacenar en el aire.
- Viento: Hace referencia al movimiento del aire que se presenta en la atmósfera.
- Presión atmosférica: Es el peso que ejerce una masa de aire sobre la superficie terrestre.
- Evaporación: Es el proceso físico de conversión del estado líquido al estado gaseoso.
- Nubosidad: Es la abundancia de nubes que se presentan en la atmósfera.

3.2 FENOMENOS CLIMATICOS

EL NIÑO

El Niño como fenómeno climático, consiste en el cambio en los patrones de movimiento de las corrientes marinas en la zona intertropical, la cual produce una superposición de aguas cálidas procedentes del hemisferio norte por encima del ecuador sobre aguas muy gélidas, que caracterizan la corriente de Humboldt; esta situación provoca estragos o efectos devastadores debido a las intensas lluvias, afectando principalmente a América del Sur, tanto en las costas atlánticas como en las del Pacífico.

LA NIÑA

La Niña es un fenómeno del clima que se caracteriza por ser la fase fría, debido a la superposición de los vientos alisios provenientes del este sobre la superficie del ecuador, forma parte del ciclo natural global del clima, junto con el fenómeno del Niño.

Tanto El Niño como La Niña, son los ejemplos más evidentes y comunes de los cambios climáticos globales, siendo parte fundamental de un vasto y complejo sistema de fluctuaciones climáticas. La Niña se caracteriza por temperaturas frías y perdurables, si se le compara con El Niño ya que éste se caracteriza por temperaturas oceánicas inusualmente calientes sobre la zona ecuatorial del océano Pacífico.

3.3 RIESGO CLIMÁTICO

Para empezar a hablar de aquellas variables climáticas que afectan la producción de carbón es necesario hablar primero del riesgo climático. Cuando se habla de riesgo climático se hace referencia a las posibles pérdidas económicas, producidas por movimientos desfavorables en determinadas variables climáticas. Cabe resaltar que no es necesario que dichos movimientos sean extremos (inundaciones, huracanes, etc.) para sufrir pérdidas; basta, por ejemplo, con que la temperatura se mantenga unos grados por encima o por debajo de las condiciones óptimas de producción para que los efectos negativos sean elevados. De hecho, en el contexto de los derivados climáticos, cuando se habla de riesgo climático, se refiere a aquellas condiciones que traen pérdidas financieras a determinada compañía, sin importar que estas condiciones sean extremas o no.

3.3.1 ¿A QUIÉN LE AFECTA EL RIESGO CLIMÁTICO?

Todas las empresas que dependan en gran parte del comportamiento meteorológico, ya sea en su producción, transporte o ventas, pueden sufrir pérdidas económicas derivadas del riesgo climático.

Todas las variables climáticas cuando se presentan en exceso generan pérdidas significativas, ellas son: la temperatura, la lluvia, el viento, la nieve, la escarcha, la humedad. Algunos estudios estiman que más del 75% de la actividad económica mundial está afectada directa o indirectamente por el clima. (TABLADO, 2012)

3.4 INFLUENCIA DEL RIESGO CLIMÁTICO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN TÉRMICO EN EL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA

Las principales variables climáticas que afectan a la producción del carbón térmico son la precipitación y la humedad relativa. Entiéndase precipitación como cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo, pero no incluye neblinas ni rocíos, que son formas de condensación y no de precipitación.

La humedad relativa de una masa de aire es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene y la que tendría si estuviera completamente saturada; así cuanto más se aproxima el valor de la humedad relativa al 100% más húmedo está.

Para el caso de las compañías mineras que se dedican a la producción de carbón térmico se ven afectadas por un aumento muy elevado en el nivel de las lluvias, las cuales obligan a detener las actividades de producción con el fin de proteger la integridad de los trabajadores y la calidad de carbón.

El alto nivel de lluvias en los departamentos de la Guajira y Cesar generó pérdidas en la producción de 7,5 millones de toneladas de carbón térmico en el año 2010, reflejados en pérdidas monetarias por más de 560 millones de dólares, de acuerdo a la revista (Portafolio, Invierno bajó la producción de carbón, 2011) Una cifra que impacta muy negativamente a una empresa minera cuyas expectativas está entre 23 a 26 millones de toneladas por año según la revista (Portafolio, Lluvias afectan a la producción de carbón en el Cerrejón, 2011) , además que el presidente de la compañía minera Cerrejón, Leon Teicher dijo: “Siempre existen las posibilidades de no cumplir las metas y cualquier negocio debe ser suficientemente flexible para adaptarse. Si en el país llueve por encima de los promedios, la producción se va a afectar”. Los promedios niveles de precipitaciones que

recibe la Guajira son de 500mm al año (Toda-Colombia, 2013) y su humedad relativa promedio que oscila entre 57% y 77%. (CorpoGuajira, 2011)

Esto es una muestra clara de que a pesar que se tiene la información de posibles lluvias, no se ha encontrado una solución determinante que pueda controlar las altas pérdidas que provocan las variables climáticas.

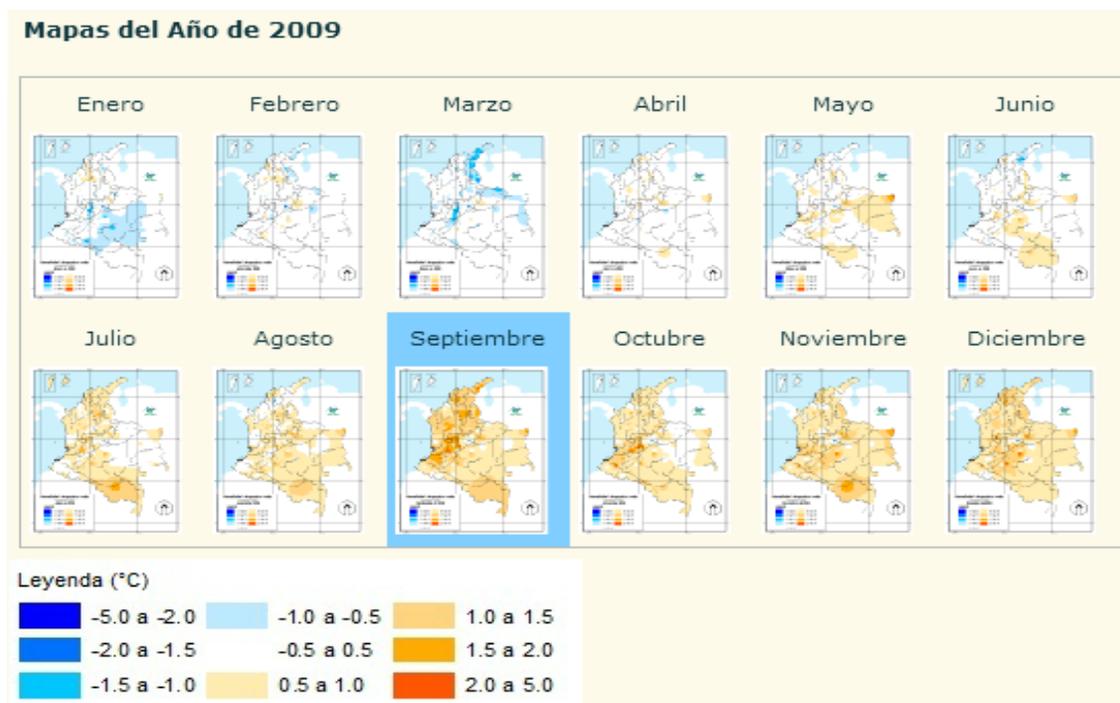
Según una entrevista que se realizó a los ingenieros de Carbonex, encargados de la gestión de calidad del carbón, el carbón térmico posee un poder calorífico entre 7800-10500 (Btu/Lb). El cuál disminuye muy levemente cuando la humedad del carbón es mayor al 8%. La humedad óptima que debe tener el carbón térmico debe estar entre el 5 y el 8%.

La humedad relativa influye poco en la producción de carbón, en algunos casos un aumento de la humedad relativa genera una perdida mínima en la calidad del carbón para ser más exacto genera un aumento en el peso de carbón pero pierde poder calorífico.

En definitiva de las variables climáticas precipitación y humedad, es más relevante para este proyecto la precipitación, ya que es la que verdaderamente afecta la producción del carbón.

3.5 ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS CLIMATICOS EN COLOMBIA Y SU INCIDENCIA EN LA PRODUCCION DE CARBON.

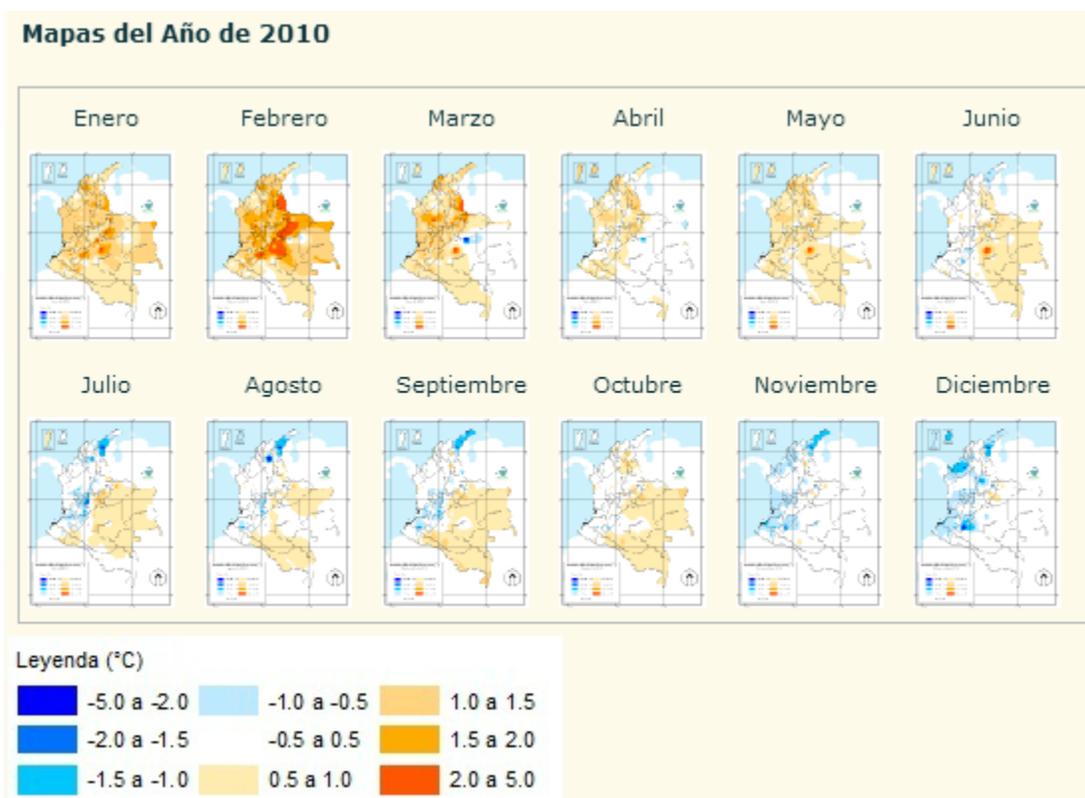
AÑO 2009



Fuente: IDEAM. *Mapas de Anomalías de Temperatura Media Mensual (°C)*

Del año 2008 al año 2009 se presentó una disminución en la producción del carbón tanto en la Guajira como en el resto del país. Un factor que influyó fue el cambio de clima que se presentó entre estos años, debido a que el primer semestre del año 2009 se caracterizó por presentar fuertes lluvias para la región Caribe y Andina, lo que se tradujo en la disminución de la temperatura promedio del mes. Esto retrasa la producción de carbón, ya que como se mencionó anteriormente la gran mayoría de minas en Colombia son a cielo abierto. (Ver Tablas 8 y 10)

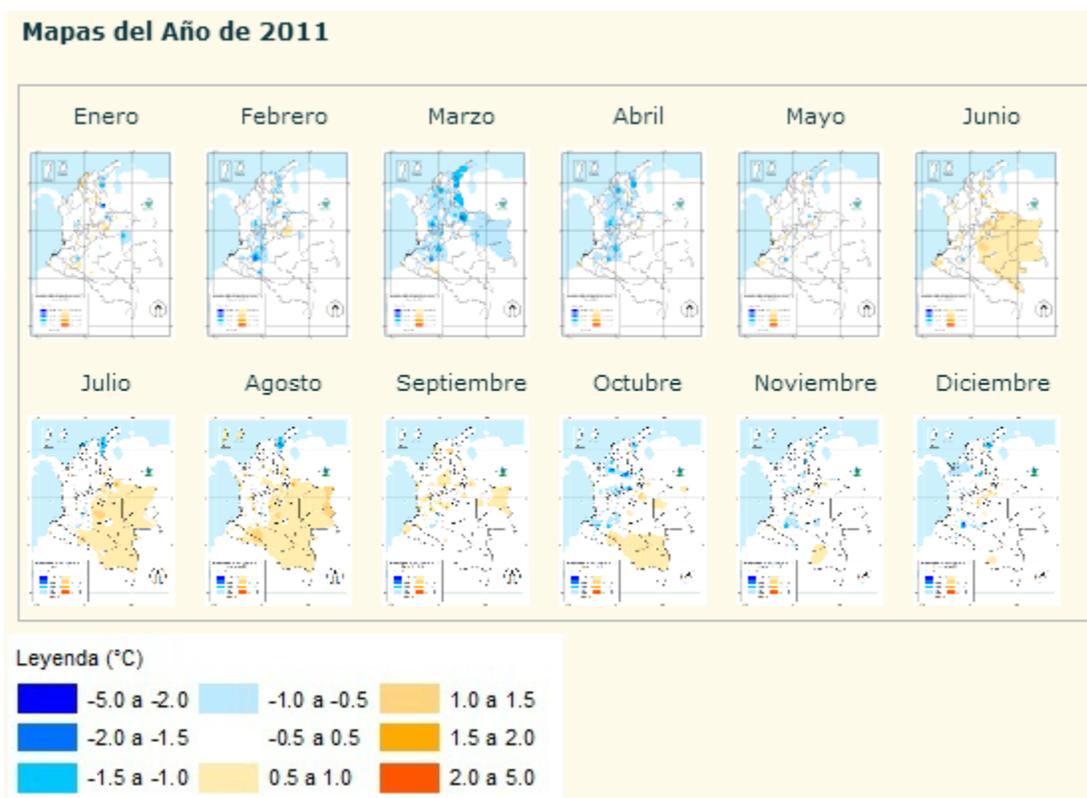
AÑO 2010



Fuente: IDEAM. Mapas de Anomalías de Temperatura Media Mensual (°C)

A finales del año 2009 y en el año 2010 la temperatura del país aumentó debido a un déficit de lluvias provocado por el fenómeno del niño, permitiendo un clima óptimo para desarrollar todas las actividades relacionadas con el carbón, por esto la producción del carbón tuvo un aumento significativo durante estos años, hasta noviembre del año 2010, a partir del cual el fenómeno de la niña afectó fuertemente el país con lluvias que perjudicaron las principales carreteras, retrasando el transporte del carbón y otras actividades relacionadas con el mismo. Ingeominas reveló que la producción fue de 74,35 millones de toneladas, más de 5 millones de toneladas por debajo del objetivo del Gobierno para ese año. (Vatia, 2011)

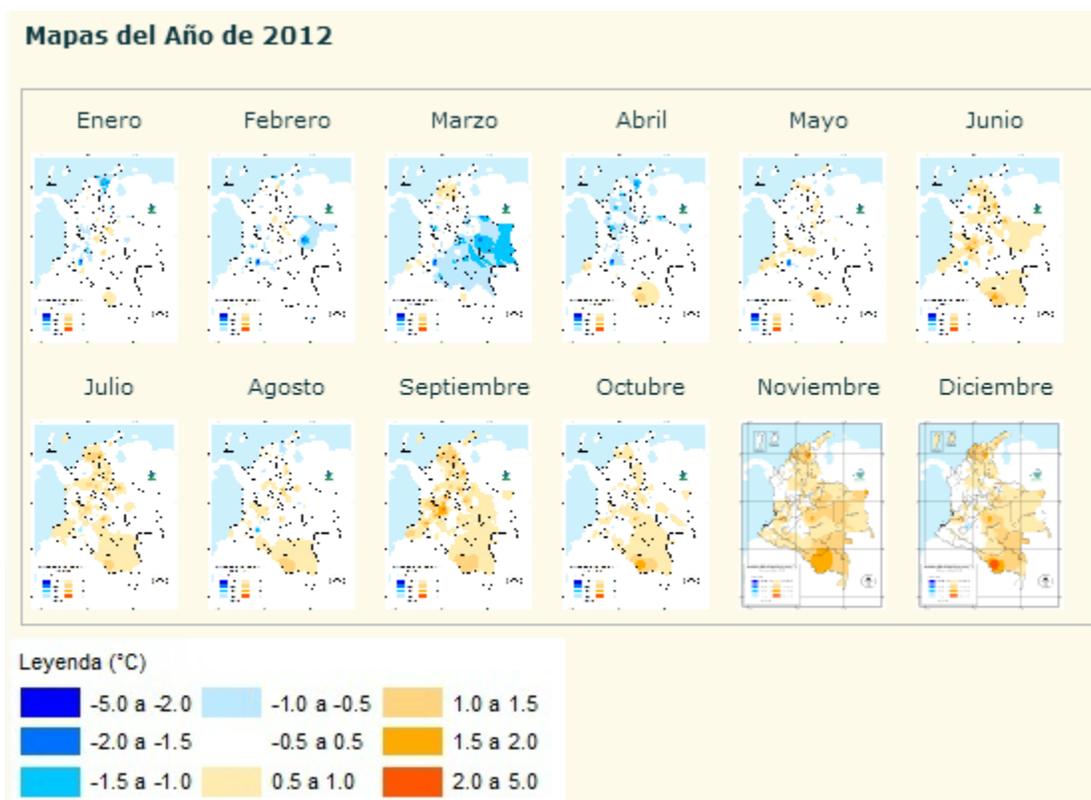
AÑO 2011



Fuente: IDEAM. Mapas de Anomalías de Temperatura Media Mensual (°C)

En el año 2011 el primer semestre del año se caracterizó por presentarse fuertes lluvias para la región del Caribe y Andina lo que incidió en la disminución de la temperatura promedio del mes. En septiembre se tuvo mucha más lluvia de la que se esperaba, razón por la cual hubo incertidumbre de lo que iba a pasar en el último trimestre del año por lo que se detuvieron las actividades, con el fin de proteger la integridad de los trabajadores. (Portafolio, Lluvias afectan a la producción de carbón en el Cerrejón, 2011)

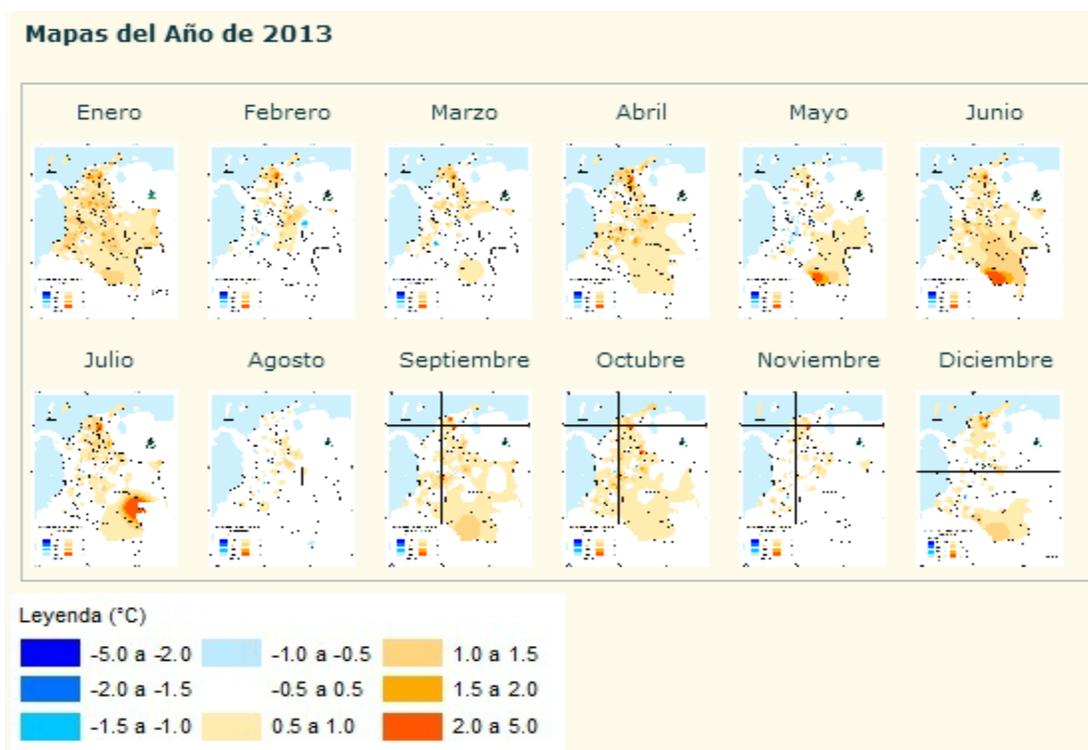
AÑO 2012



Fuente: IDEAM. *Mapas de Anomalías de Temperatura Media Mensual (°C)*

En el año 2012 los primeros seis meses se caracterizaron por fuertes lluvias para la región del Orinoco y Amazonas lo que produjo la disminución de la temperatura promedio del mes. A pesar de que el país experimentó un Fenómeno de la Niña en los primeros meses del año, la producción de carbón presentó un crecimiento del 14,6% entre Enero y Marzo comparado con el año anterior. El Servicio Geológico Colombiano no suministró inmediatamente una explicación al repunte, pero el comportamiento se registra en medio de un auge de la exploración minera y petrolera en el país, ante la mejora en las condiciones de seguridad. (Dinero, Producción del Carbón Resistió Lluvias del Primer Trimestre 2012)

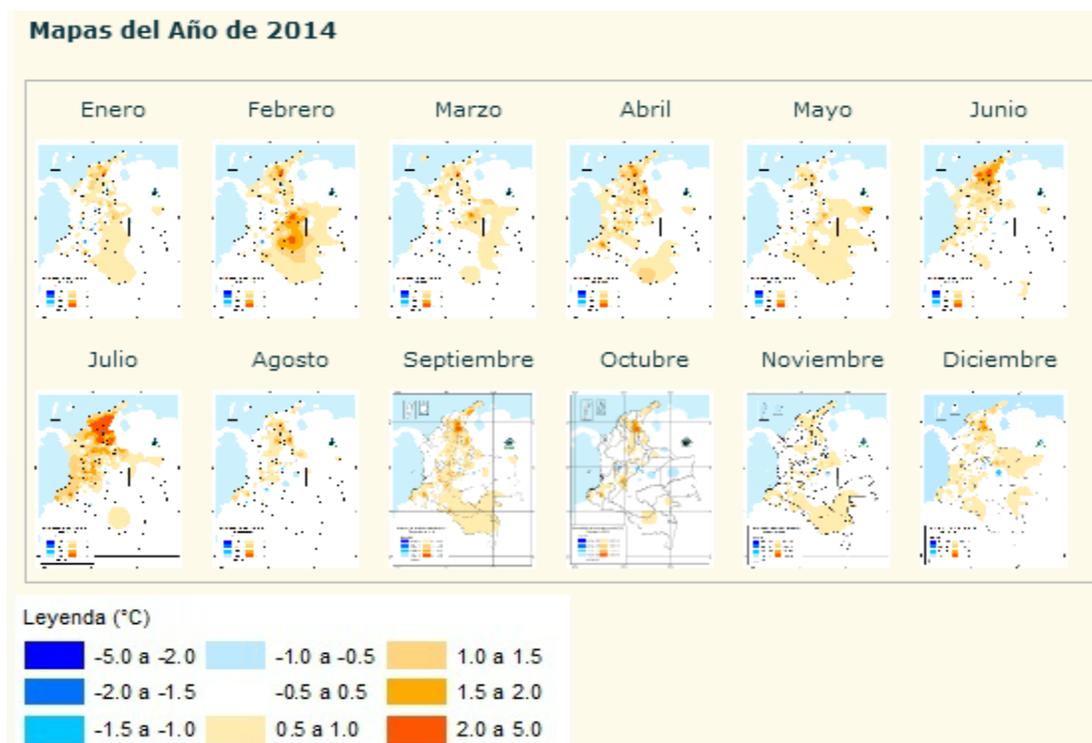
AÑO 2013



Fuente: IDEAM. Mapas de Anomalías de Temperatura Media Mensual (°C)

El año 2013 se caracterizó por presentarse grandes déficits de lluvias para las regiones del país lo que se tradujo en el incremento de la temperatura promedio del mes, estas condiciones climáticas son favorables para la producción de carbón. En este año Colombia mantuvo su meta de producción de carbón en 94 millones de toneladas, pero no pudo lograrlo a pesar de tener unas condiciones climáticas favorables, esto ocurrió debido a una huelga que se presentó en la compañía Cerrejón en La Guajira durante el primer trimestre de 2013, mientras que en el departamento del Cesar, la caída fue de 6,49%, pasando de 24.789.897 a 23.180.528 toneladas en el primer semestre de 2012 al mismo período de 2013, es decir una disminución de 1.609.369 toneladas disminución que se reflejó debido al cierre del puerto de la empresa Drummond, como consecuencia de arrojar el carbón al mar. (SIMCO, Comportamiento de la Producción y Exportaciones de Carbón Primer Semestre y Segundo Trimestre de 2013)

AÑO 2014



Fuente: IDEAM. Mapas de Anomalías de Temperatura Media Mensual (°C)

Al observar el clima del año 2014 podemos analizar que las condiciones climáticas fueron favorables para la producción, ya que fue un clima cálido y se presentaron pocas lluvias, especialmente en el departamento de la guajira. La Agencia Nacional de Minería, ANM, estableció que la producción de carbón en el 2014 llegó a 88.577.980 toneladas, un 3,6 % más que en el 2013. La Guajira produjo 34.357.761 toneladas en el 2014 según los datos de la ANM, un millón más que en el año anterior. (Portafolio, Colombia Produjo 88,5 millones de toneladas de Carbón, 2015)

Lo anterior evidencia que el clima ha sido un factor muy influyente en la producción de carbón térmico, aunque existen otras variables que influyen como los paros de los trabajadores y las normas y políticas ambientales que pueden ser determinantes.

Las minas a cielo abierto necesitan unas condiciones climáticas que estén dentro del rango de la media, ya que una cantidad de lluvia extrema las afecta significativamente, es así como los fenómenos naturales se convierten en el mayor problema para las empresas carboníferas. Colombia ha sido afectada los últimos años por muchos de esos fenómenos.

4. APLICACIÓN DE MODELOS ECONÓMICOS A LAS VARIABLES QUE IMPACTAN EN LA PRODUCCIÓN CON SU RESPECTIVO ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

A continuación se presentan información por trimestre relacionada con las variables producción, precipitación y humedad relativa. (Ver Tabla 11).

Tabla 11. DATOS

LA GUAJIRA	PRODUCCIÓN TRIMESTRAL				PRECIPITACIONES TRIMESTRAL				HUMEDAD RELATIVA TRIMESTRAL			
	Ton				Mm				%			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
2004	6.260.076,0	6.210.080,0	6.685.105,0	5.391.532,0	63,67	64,33	60,67	70,67	61,67	70,00	69,00	72,33
2005	5.993.704,0	6.937.476,0	7.330.363,0	6.918.486,0	65,33	58,33	38,33	39,95	62,00	69,67	68,33	72,00
2006	7.217.720,0	7.384.889,0	7.424.366,0	7.046.510,0	0,00	48,00	64,67	48,00	63,00	67,67	66,67	74,33
2007	6.802.643,0	7.411.563,0	7.472.952,7	8.382.293,0	16,00	41,67	44,33	48,00	63,33	66,67	64,67	71,67
2008	7.778.052,0	7.948.538,2	8.801.010,4	7.412.255,0	0,00	61,67	42,67	37,67	63,67	67,00	64,67	69,00
2009	8.033.125,0	8.488.080,4	8.049.813,2	6.859.911,3	5,00	43,67	62,67	50,67	68,33	66,67	61,67	60,67
2010	7.676.331,3	8.741.523,2	7.607.192,0	7.073.201,1	21,33	29,97	35,67	35,33	58,33	64,33	71,67	74,33
2011	8.176.590,8	7.793.637,7	8.884.872,7	8.500.509,0	10,53	70,67	71,50	59,67	74,67	70,67	67,67	67,67
2012	9.007.288,0	9.385.399,2	8.738.968,0	7.961.043,4	0,33	42,73	30,50	32,33	70,67	69,33	66,00	61,00
2013	4.584.377,0	9.152.961,0	9.506.621,9	10.052.324,7	0,17	59,67	35,33	30,00	60,33	63,67	64,00	62,33

Fuentes: Elaboración Propia. Tomado de UPME, Producción por Departamento Trimestral, Datos a diciembre de 2013 e información suministrada por el IDEAM.

En la Tabla 12 se presenta los datos obtenidos del análisis estadístico de cada una de las variables a utilizar en el modelo a desarrollar.

Tabla 12. ESTADISTICA DESCRIPTIVA

Y (Producción de Carbón)		X (Precipitación)		Z (Humedad)	
Media	7.677.084,63	Media	48,2960	Media	66,783
Mediana	7.641.761,66	Mediana	41,31	Mediana	66,83
Moda	#N/A	Moda	35,6667	Moda	67,6667
Desviación estándar	1.133.580,55	Desviación estándar	13,67	Desviación estándar	4,24
Curtosis	0,48	Curtosis	(1,34)	Curtosis	(0,83)
Coefficiente de asimetría	(0,35)	Coefficiente de asimetría	0,58	Coefficiente de asimetría	0,05
Mínimo	4.584.377,00	Mínimo	33,47	Mínimo	58,3333333
Máximo	10.052.324,70	Máximo	74,67	Máximo	74,6666667
Cuenta	40	Cuenta	40	Cuenta	40

Fuente: Elaboración Propia – Regresión Lineal Simple (Excel)

Según la tabla estadística es posible decir que a un nivel de confianza del 95% el promedio en la producción de carbón por trimestre es de 7.677.084,63 toneladas para una muestra de 40 datos, la desviación estándar es lo que se espera que pueda variar la producción de carbón por trimestre que es de 1.133.580,55, es decir que los datos no están dispersos de la media y se acepta el modelo. El coeficiente de asimetría de la producción del carbón es negativa lo que indica que la distribución se sesga a la derecha.

Para la precipitación, de acuerdo a un nivel de confianza del 95% el promedio de la precipitación de lluvias por trimestre es de 48,29 (mm) para una muestra de 40 datos, la desviación estándar es la variación de las precipitaciones de lluvias por trimestre que es 13,6732. El coeficiente de

asimetría de las precipitaciones de lluvias es positivo lo que indica que la distribución se sesga a la izquierda.

La humedad de acuerdo a un nivel de confianza del 95% el promedio de la humedad relativa por trimestre es de 66,78% para una muestra de 40 datos, la desviación estándar es la variación de la humedad por trimestre que es 4,24. El coeficiente de asimetría de la humedad es positivo lo que indica que la distribución se sesga a la izquierda.

Además, se procede a realizar una matriz de correlación para analizar la dependencia de una variable con respecto a la otra.

MATRIZ DE CORRELACIÓN			
	Y (Pcc Carbón)	X(Precipitación)	Z(Humedad)
Y (Pcc Carbón)	1	-0,367346893	-0,008061683
X(Precipitación)	-0,367346893	1	0,224694852
Z(Humedad)	-0,008061683	0,224694852	1

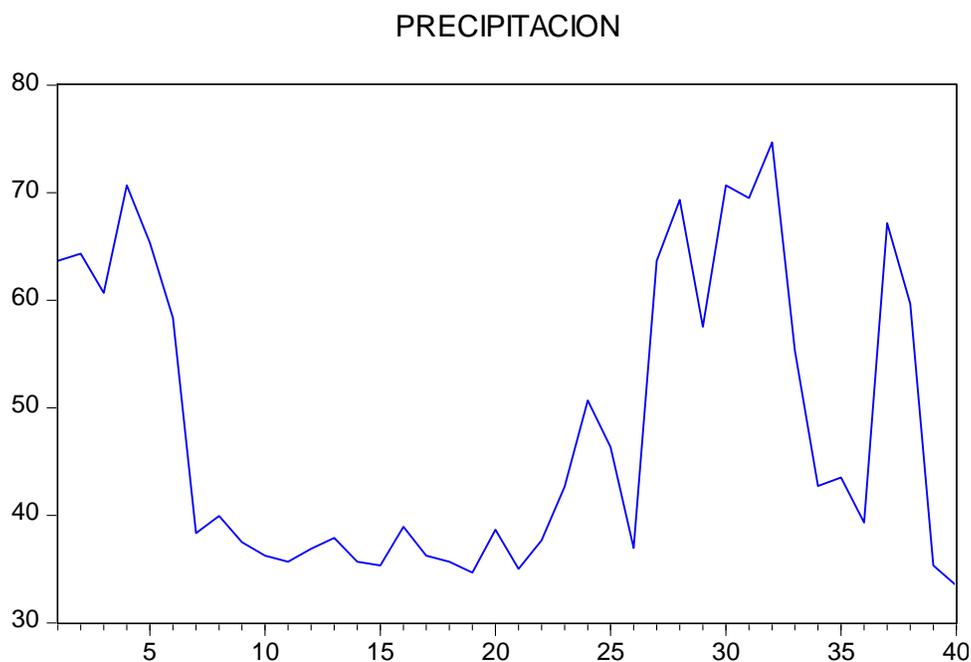
Fuente: Elaboración Propia.

En la matriz se observa que el coeficiente de correlación entre las variables X (precipitación) y Y (producción) presenta un valor de -0,37, esto quiere decir que cuando una variable se mueve de posición la otra también se mueve, pero en diferente dirección ya que su coeficiente es cercano al cero. Igualmente, al analizar el coeficiente de correlación entre la variables Y (producción) y Z (humedad relativa), su coeficiente es aún más cercano al cero, lo que indica que ambas variables se mueven en distinta dirección.

COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES A UTILIZAR EN EL MODELO MEDIANTE PROGRAMA EIEWS

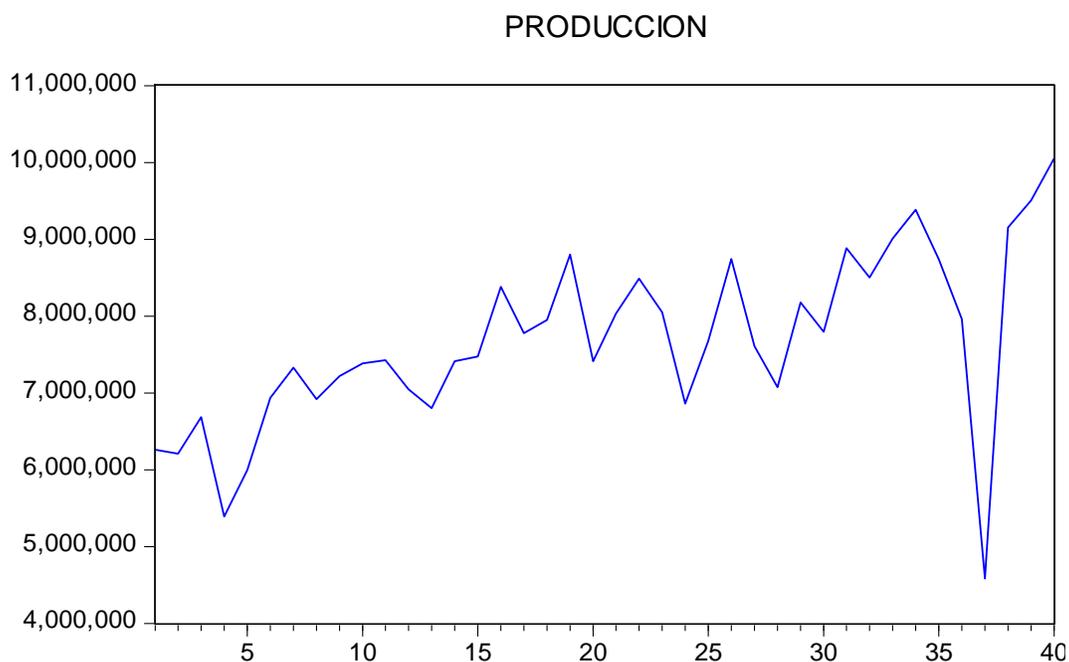
Para determinar el comportamiento de cada una de las variables del modelo, a continuación se procede a su análisis.

Gráfica 7. PRECIPITACIÓN VS TRIMESTRE



Fuente: Elaboración Propia Eviews.

En el eje horizontal corresponde a los trimestres desde el año 2004 hasta 2013 y el vertical a las precipitaciones, medidas en milímetros. En la misma, se evidencia un comportamiento irregular en los niveles de precipitación, del trimestre 5 al 7 se presenta una caída del 43%, manteniéndose baja hasta el trimestre 28 en donde se ve aumentos cercanos al 45.

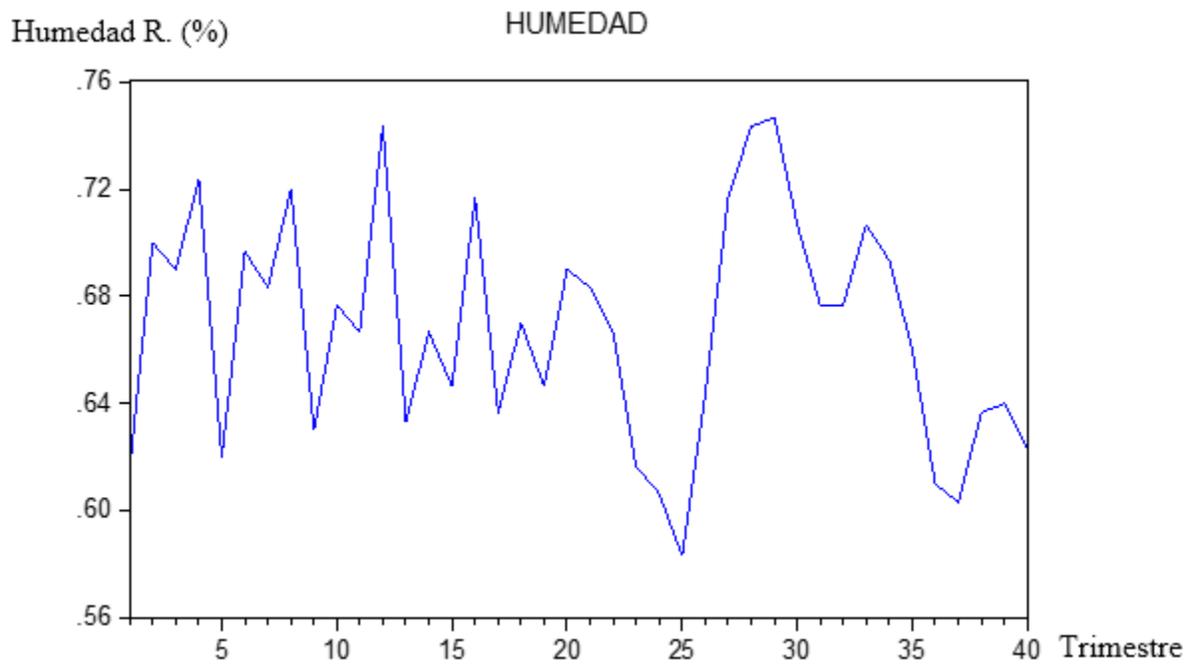
Gráfica 8. PRODUCCIÓN VS TRIMESTRE

Fuente: Elaboración Propia Eviews.

En esta gráfica los datos ubicados en el eje horizontal corresponden a los trimestres desde el año 2004 hasta 2013 y en el eje vertical las producciones de carbón térmico.

Análisis de las gráficas 7 y 8:

- En los cinco primeros trimestres se presentan altas precipitaciones y se evidencia una caída en la producción.
- Del trimestre 7 al 22 cuando hay bajas precipitaciones se observa un incremento continuo en la producción.
- Del trimestre 22 al 32 se incrementan significativamente las precipitaciones y como consecuencia se observa un impacto negativo en la producción.

Gráfica 9. HUMEDAD VS TRIMESTRE

Fuente: Elaboración Propia Eviews.

En esta gráfica se observa la relación que existe entre las precipitaciones y la humedad. Al aumentar el nivel de precipitación la humedad relativa aumenta levemente.

A continuación se procede a realizar los correlogramas de cada una de las variables a utilizar en el modelo mediante el programa Eviews para determinar el nivel significancia de cada una de ellas.

PRECIPITACIÓN CORRELOGRAMA:

Date: 04/29/15 Time: 23:17

Sample: 1 40

Included observations: 40

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.700	0.700	21.082	0.000
		2	0.434	-0.109	29.397	0.000
		3	0.353	0.185	35.070	0.000
		4	0.281	-0.041	38.760	0.000
		5	0.183	-0.031	40.374	0.000
		6	0.016	-0.214	40.387	0.000
		7	-0.057	0.045	40.550	0.000
		8	-0.150	-0.218	41.730	0.000
		9	-0.196	0.065	43.822	0.000
		10	-0.190	-0.041	45.839	0.000
		11	-0.285	-0.187	50.550	0.000
		12	-0.330	-0.030	57.091	0.000
		13	-0.280	0.049	61.965	0.000
		14	-0.249	-0.107	65.968	0.000
		15	-0.306	-0.161	72.270	0.000
		16	-0.335	-0.026	80.124	0.000
		17	-0.312	-0.157	87.256	0.000
		18	-0.271	0.001	92.855	0.000
		19	-0.231	-0.064	97.132	0.000
		20	-0.235	-0.151	101.77	0.000

Fuente: Elaboración Propia Eviews.

Al analizar el correlograma de la variable precipitación se concluye que todos los datos que se encuentran en dicha variable son estadísticamente significativos, a un nivel de significancia del

5%

HUMEDAD CORRELOGRAMA

Date: 04/29/15 Time: 23:22

Sample: 1 40

Included observations: 40

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.307	0.307	4.0567	0.044
		2	0.221	0.140	6.2136	0.045
		3	-0.296	-0.447	10.190	0.017
		4	0.107	0.399	10.723	0.030
		5	-0.230	-0.391	13.271	0.021
		6	-0.031	-0.071	13.318	0.038
		7	-0.355	-0.020	19.744	0.006
		8	-0.021	-0.135	19.768	0.011
		9	-0.268	-0.169	23.660	0.005
		10	-0.084	-0.198	24.056	0.007
		11	-0.201	0.146	26.404	0.006
		12	0.149	-0.084	27.729	0.006
		13	0.049	-0.066	27.878	0.009
		14	0.144	-0.004	29.213	0.010
		15	-0.006	0.021	29.216	0.015
		16	0.067	-0.227	29.527	0.021
		17	0.031	0.128	29.597	0.029
		18	0.034	-0.106	29.683	0.041
		19	-0.038	-0.139	29.796	0.054
		20	-0.026	0.086	29.850	0.072

Fuente: Elaboración Propia Eviews.

En el correlograma de la variable humedad sus últimos dos datos no son significativos a un nivel de significancia del 5%.

Con base en los análisis realizados anteriormente se puede plantear que la variable humedad, no genera un cambio significativo en la variable producción, caso contrario sucede con la variable precipitación, ya que todos sus datos son significativos para el modelo.

Pero no es posible afirmar lo anterior con certeza, por ello, se construirán distintos modelos econométricos, realizados en Eviews, con el fin de demostrar con un nivel de confianza del 95% que la variable precipitación influye un comportamiento sobre la variable dependiente, que para nuestro caso es la producción de carbón térmico, también se realizara un modelo de regresión

lineal simple, tomando como variable independiente la humedad, con el fin de demostrar que su comportamiento influye muy poco el comportamiento de la variable producción.

Por ultimo construiremos un modelo de regresión múltiple, en el cual se hará una prueba conjunta, tomando como variables independientes la precipitación y la humedad, y como variable dependiente la producción.

ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN VS HUMEDAD

Dependent Variable: PRODUCCION

Method: Least Squares

Date: 04/29/15 Time: 08:37

Sample: 1 40

Included observations: 40

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	7820922.	2899970.	2.696898	0.0104
HUMEDAD	-215379.3	4333835.	-0.049697	0.9606
R-squared	0.000065	Mean dependent var	7677085.	
Adjusted R-squared	-0.026249	S.D. dependent var	1133581.	
S.E. of regression	1148362.	Akaike info criterion	30.79428	
Sum squared resid	5.01E+13	Schwarz criterion	30.87872	
Log likelihood	-613.8856	Hannan-Quinn criter.	30.82481	
F-statistic	0.002470	Durbin-Watson stat	1.008193	
Prob(F-statistic)	0.960624			

Fuente: *Elaboración Propia Eviews.*

Al correr el modelo econométrico en Eviews, en donde la variable dependiente es la producción de carbón y la independiente es la Humedad.

Es posible observar su R- cuadrado de 0.0065% lo cual indica que la variable humedad influye muy poco en el comportamiento de la variable producción. También es posible decir que esta

variable no es estadísticamente significativa para el modelo ya que su probabilidad es mayor al alfa. Para un alfa del 1%, 5% y 10%.

ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN VS PRECIPITACIÓN

Dependent Variable: PRODUCCION

Method: Least Squares

Date: 04/29/15 Time: 08:37

Sample: 1 40

Included observations: 40

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	9147936.	627280.9	14.58347	0.0000
PRECIPITACION	-30454.93	12508.69	-2.434703	0.0197
R-squared	0.134944	Mean dependent var		7677085.
Adjusted R-squared	0.112179	S.D. dependent var		1133581.
S.E. of regression	1068108.	Akaike info criterion		30.64938
Sum squared resid	4.34E+13	Schwarz criterion		30.73383
Log likelihood	-610.9876	Hannan-Quinn criter.		30.67991
F-statistic	5.927779	Durbin-Watson stat		0.870637
Prob(F-statistic)	0.019710			

Fuente: Elaboración Propia Eviews.

Al correr el modelo econométrico en Eviews, en donde la variable dependiente es la producción de carbón y la independiente es la precipitación.

Es posible observar su R- cuadrado de 13,5% lo cual indica que una variación en la variable humedad si influye en el comportamiento de la variable producción. También es posible decir que esta variable es estadísticamente significativa para el modelo ya que su probabilidad es menor al alfa. Para un alfa del 5% y 10%.

ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN VS PRECIPITACIÓN Y HUMEDAD

Dependent Variable: PRODUCCION

Method: Least Squares

Date: 04/29/15 Time: 08:34

Sample: 1 40

Included observations: 40

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	7818978.	2724264.	2.870125	0.0067
PRECIPITACION	-31916.13	12965.25	-2.461668	0.0186
HUMEDAD	2095623.	4178091.	0.501574	0.6189
R-squared	0.140786	Mean dependent var	7677085.	
Adjusted R-squared	0.094342	S.D. dependent var	1133581.	
S.E. of regression	1078784.	Akaike info criterion	30.69261	
Sum squared resid	4.31E+13	Schwarz criterion	30.81927	
Log likelihood	-610.8521	Hannan-Quinn criter.	30.73840	
F-statistic	3.031303	Durbin-Watson stat	0.855151	
Prob(F-statistic)	0.060378			

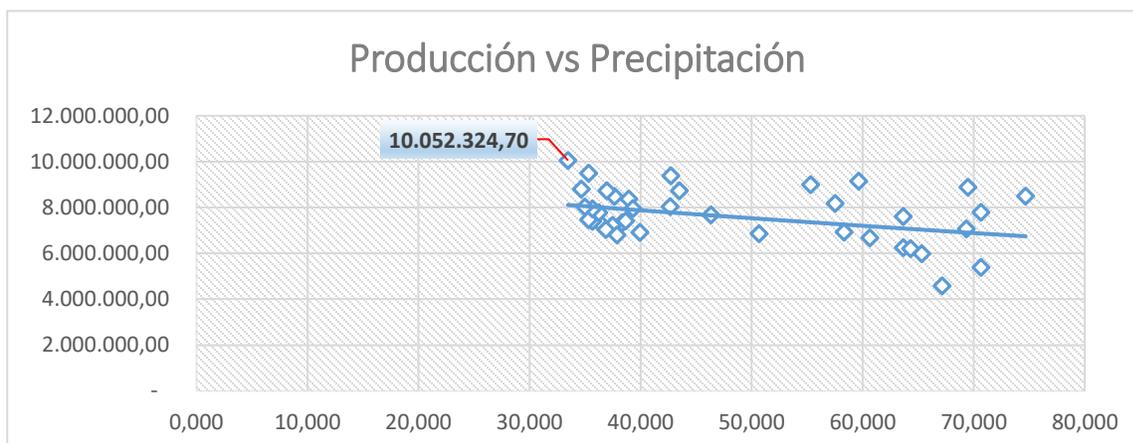
Fuente: Elaboración Propia Eviews.

Al correr el modelo econométrico en Eviews, en donde la variable dependiente es la producción de carbón y las variables independientes son precipitación y humedad. Para este caso es un modelo de regresión lineal múltiple.

Es posible analizar y hacer observaciones acerca de sus coeficientes. Por un milímetro adicional en la precipitación, la producción de carbón disminuye 31.916,13 toneladas. También se puede decir que al realizar la prueba conjunta con las dos variables independientes la variable precipitación es estadísticamente significativa para el modelo ya que su probabilidad es menor al alfa. Para un alfa del 5% y 10%, mientras que la variable humedad no es estadísticamente significativa para el modelo a ningún alfa ya sea del 1%, 5% o 10%.

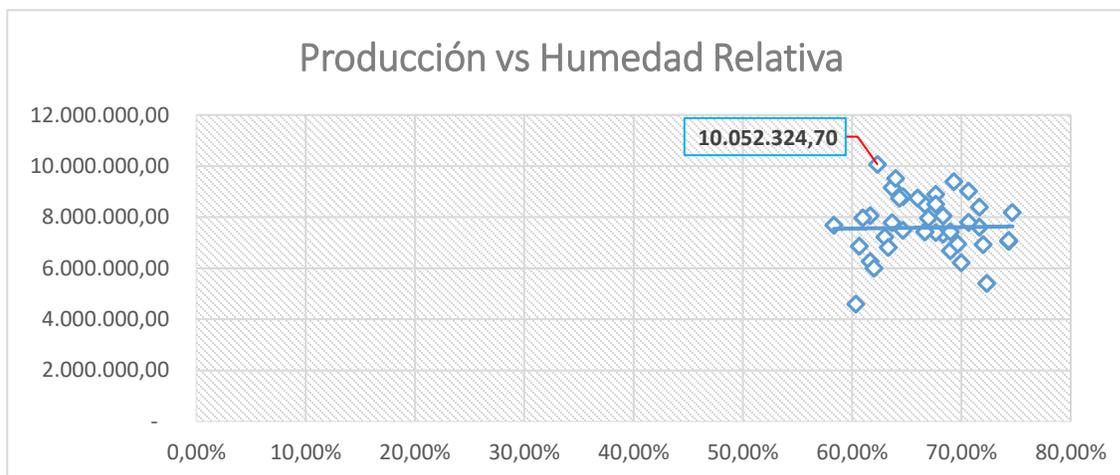
Para determinar la producción óptima para cada una de las variables climáticas se procede a realizar los gráficos de dispersión.

Gráfica 10. PRODUCCIÓN VS PRECIPITACIÓN



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfica 11. PRODUCCIÓN VS HUMEDAD



Fuente: Elaboración Propia.

Para la producción de carbón, la precipitación óptima debe ser de 33,47 mm como nos indica el gráfico de dispersión, en el cual se observa que cuando la precipitación es de 33,47 la producción es de 10.052.324,70.

La variable climática más relevante que influye en la producción de carbón térmico son las precipitaciones.

5. DISEÑO DEL PRODUCTO DERIVADO CLIMÁTICO

ESPECIFICACIONES DEL DERIVADO CLIMÁTICO A DESARROLLAR:

➤ VARIABLE SUBYACENTE

Dados los estudios econométricos anteriores se concluyó que la variable que más afecta la producción de carbón en el departamento de la Guajira es precipitación, por ende el cálculo del índice del cual se deriva la opción climática será sobre esta.

➤ INFORMACIÓN SELECCIONADA

Los datos de las variables climáticas fueron obtenidos por medio del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), quienes proporcionaron la información de las precipitaciones mensuales desde el año 1999, hasta el 2013. Los datos suministrados pertenecen al municipio de Hatonuevo en el departamento de la Guajira.

➤ INDICE

Para el desarrollo del derivado climático se calculó el índice en base a las precipitaciones acumuladas trimestralmente, ya que esta será la periodicidad que tendrá el contrato.

$$X = \sum_{i=1}^{Nd} T_i$$

La sumatoria de las precipitaciones mensuales con i iniciando en el año 1999, hasta n en el 2013, de esta manera se obtiene un índice trimestral por cada año.

➤ **ESTRATEGIAS DE COBERTURA**

Cuando se desea hacer una cobertura con una opción, existen dos alternativas (Call y Put) dependiendo de las expectativas que se tengan respecto al comportamiento del índice sobre el cual se está ejerciendo del derivado, Para este proyecto, se usará una opción Call, ya que las empresas carboníferas deben cubrirse de posibles pérdidas provocadas por el aumento de la precipitación en el departamento de la Guajira.

➤ **COMPRA DE OPCION CALL (LONG CALL)**

Las opciones Call son derechos de compra. Al adquirir una opción Call se da el derecho más no la obligación al comprador de comprar las acciones a un precio previamente establecido, ese precio se le denomina strike; a una fecha determinada, conocida como fecha de vencimiento. Estas opciones de pueden vender y comprar en cualquier momento hasta la fecha de su vencimiento.

Para el caso de un índice climático, en la opción Call se espera que la precipitación acumulada del periodo aumente, ya que el comprador de una Call comienza a ganar cuando la cotización supera la suma de la prima más el strike, en caso contrario el comprador estaría perdiendo, pero dicha pérdida está limitada al valor de la prima que ha pagado.

En caso que el índice no superen el strike pactado, no se ejercerá la opción, ya que esto significa que la precipitación estuvo en los niveles necesarios para la producción de carbón por lo tanto no se registraron pérdidas a causa de esta.

$$\text{short Call} = \text{Max}(I_t - \text{Strike}; 0) * \text{Ticker}$$

➤ **VENTA DE OPCION CALL (SHORT CALL)**

Obliga al vendedor a vender el activo subyacente al precio de ejercicio en la fecha de vencimiento o antes de que finalice el plazo, a cambio del cobro de una prima. Tiene ganancias limitadas y pérdidas ilimitadas, por ende sus expectativas son bajistas.

Para el caso de un índice climático, los vendedores de una opción Call confía que la precipitación acumulada no será superior al strike pactado, por lo tanto pueden ser todos aquellos que se ven perjudicados por la falta de lluvia y desean cubrirse de las sequias como los ganaderos y agricultores.

➤ **NIVEL DE STRIKE**

El strike es el valor de referencia sobre el cual se recibirá una compensación cuando el nivel de la precipitación se encuentre por encima o por debajo de ese valor, dependiendo de la posición que se está ejerciendo (Short Call o Long Call). Para el Short Call el beneficio está determinado por la prima que pague el comprador del contrato, en caso de ser un Long Call, el beneficio se encontrará por cada milímetro de lluvia por encima del valor del strike, menos la prima.

Se debe determinar el valor del strike sobre el cual se desea establecer la cobertura para ejercer la opción Call.

El nivel de precipitación óptima para la producción de Carbón es de 33,47 en un trimestre.

El cálculo del strike se hará por medio de desviaciones estándar por encima de la precipitación óptima.

Desviación estándar	13,67
----------------------------	-------

Fuente: Elaboración Propia.

STRIKE 1	47,14
STRIKE 2	60,81
STRIKE 3	74,48

Fuente: Elaboración Propia.

➤ **PERIODO DEL VENCIMIENTO DE CONTRATO:**

Para desarrollar los determinados análisis econométricos, se tomaron periodos de producción trimestrales ya que en la página de correjón se mostraron con esta periodicidad, también se tomaron las precipitaciones trimestrales ya que ese es el periodo promedio de tiempo que dura una estación climatológica, por lo tanto el periodo de vencimiento del contrato será de 3 meses.

➤ **ESTILO DE CONTRATO DE OPCIÓN**

Europeo. Se ejercen únicamente en la Fecha de Vencimiento.

➤ **TICKER:**

El ticker es el valor monetario que se da al índice, es decir, es el monto pagado por cada mm de agua por encima strike.

Se calculó el ticker de 2 formas diferentes, la primera fue tomando el que aparece en la página de la CME Group, el cual es de 50 USD por cada variación de pulgada del índice.

Como la medición se está haciendo de en milímetro, se hace la transformación; por lo que el ticker pagado será de 2 dólares por cada variación en mm del índice.

La segunda forma de hallarlo fue por medio de las pérdidas de producción que registró cerrejón por lluvias en el 2010.

La Guajira	Pérdidas (ton)	Precio Carbón (2010)	TOTAL PERDIDAS (USD)
	3.136.987	52,47	\$ 164.597.719,57

Fuente: Elaboración Propia.

Se tomaron las diferencias entre la precipitación óptima para la producción de carbón y las registradas en el 2010, buscando así cuál hubiese sido el valor necesario del ticker para haber cubierto la totalidad de la perdida y suponiendo que se adquirirían 1000000 de opciones de compra ya que la cantidad a cubrir era alta y se trataba de la totalidad de las perdidas, pero de esta manera podemos modificar el ticker de acuerdo a la cantidad de contratos que vamos a comprar. Después de esta operación el valor del ticker fue 1,997 usd/mm

PRECIPITACION TRIMESTRAL					TOTAL
Año/ Trimestre	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	
Precipitación 2010	46,33	36,97	63,67	69,33	
Precipitación óptima	33,47	33,47	33,47	33,47	
Diferencia	12,86	3,50	30,20	35,86	82,42

Fuente: Elaboración Propia.

PERDIDAS /PRECIPITACION	1.997.060 USD
Contratos	1.000.000
Ticker	2 USD

Fuente: Elaboración Propia.

➤ VALORACIÓN SEGÚN EL MÉTODO BURN ANALYSIS

Para la valoración del derivado se investigaron varios métodos como el de B-S, el cual no se adecua muy bien para la valoración de derivados climáticos debido a que las variables meteorológicas no cumplen los supuestos que hace este modelo, estos supuestos son:

- Los precios de los subyacentes deben seguir un proceso de movimiento browniano geométrico.
- Es posible tomar posiciones cortas en el subyacente.
- No existen oportunidades de arbitraje.
- No existen costos de transacción.
- Es posible tomar prestado y prestar dinero una tasa de interés libre de riesgo.

Después buscar diferentes métodos se llegó a la conclusión que el método más claro y conciso por el cual podemos calcular la primera aproximación al precio del derivado, se conoce como “Burn Analysis” y consiste evaluar cómo se habría comportado el contrato en los años anteriores y suponer que, en promedio, el contrato debiese mantener un comportamiento similar (Jewson y Brix, 2005), en otras palabras, evalúa el contrato con valores de precipitación históricos que es la variable de estudio en el trabajo.

Comportamiento Long Call				
	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
1999	7	7,86	12,86	13,86
2000	0,00	2,86	31,86	11,86
2001	0,00	24,86	7,86	28,86
2002	0,00	16,86	21,86	26,86
2003	0,00	20,86	39,86	7,86
2004	16,53	17,19	13,53	23,53
2005	18,19	11,19	0,00	0,00
2006	0,00	0,00	0,00	0,00
2007	0,00	0,00	0,00	0,00
2008	0,00	0,00	0,00	0,00
2009	0,00	0,00	0,00	3,53
2010	0,00	0,00	16,53	22,19
2011	10,39	23,53	22,36	27,53
2012	8,19	0,00	0,00	0,00
2013	20,03	12,53	0,00	0,00

Fuente: Elaboración Propia.

En primer lugar se toma la muestra y se calculan los índices de pago para la opción Call, luego se calcula el promedio de estas diferencias y se multiplica por el valor en dinero que se asigna a cada milímetro de precipitaciones, en este caso USD \$2. Este resultado se descuenta a la tasa libre de riesgo para traer el precio al valor presente.

Tasa libre de riesgo	7,03%	Ea
	6,79%	C.C
Ticker	2,00	Usd
Tiempo P	15	Años

Fuente: Elaboración Propia.

	CALL			
	trimestre 1	trimestre 2	trimestre 3	trimestre 4
Promedio	5,3	9,2	11,1	11,1
Precio prima	3,85 USD	6,62 USD	8,01 USD	7,98 USD

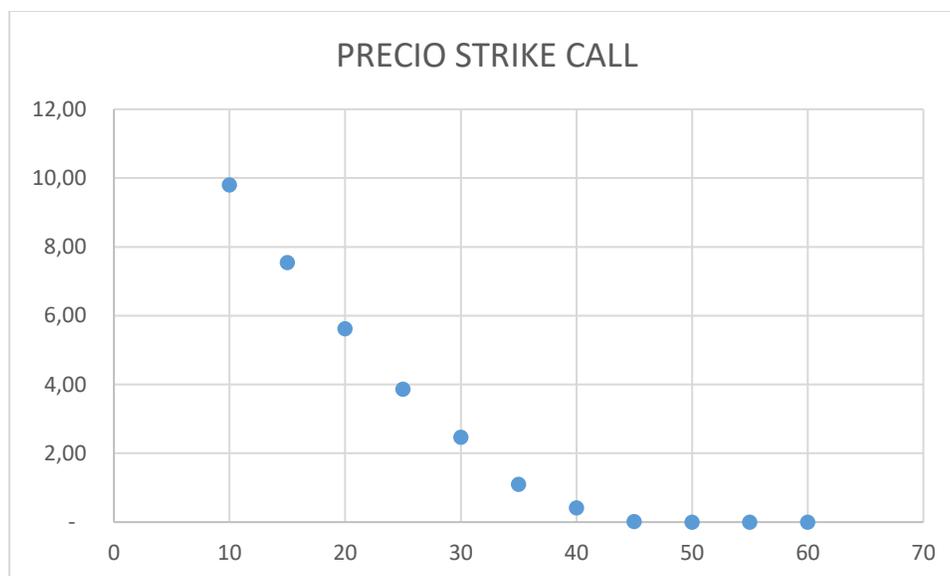
Fuente: Elaboración Propia.

➤ ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO DEL PRECIO SEGÚN SU STRIKE

Si analizamos el comportamiento del precio con respecto al strike podemos ver mientras se pacte un mayor strike el precio será menor, esto se debe a que si se toma una mayor precipitación como strike, las ganancias van a ser menores, ya que la diferencia entre lo pactado y el índice disminuirá.

CALL TRIMESTRE 4											
Strike	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Precio	16,063	14,258	12,453	10,649	8,844	7,076	5,542	4,459	3,377	2,398	1,580
Precio*Ticker	32,08	28,47	24,87	21,27	17,66	14,13	11,07	8,91	6,74	4,79	3,16

Fuente: Elaboración Propia.



Fuente: Elaboración Propia.

➤ **UTILIDADES:**

Suponiendo que el comportamiento del índice durante los próximos años será igual que en últimos 15 años, se hizo un análisis de las utilidades que representarían los contratos Call tanto para el comprador como para el vendedor, se tomaron los 3 niveles de strike y se pudo concluir que un strike mayor beneficiaría más al vendedor y por ende perjudicaría al comprador, ya que las ganancias de una parte, representan las pérdidas de la otra parte.

6. CONCLUSIONES

Al terminar el análisis de los diferentes factores climáticos que afectan directamente la producción de carbón térmico en el departamento de La Guajira, se construyen estrategias que permiten diseñar una posible solución a la problemática de las variaciones meteorológicas, lo cual genera un riesgo que desfavorece al sector minero en Colombia.

Es por esta evidente necesidad de cubrir las grandes pérdidas que genera el sector minero a causa de las variables climáticas, que se presenta como una solución, el diseño del derivado climático, queda la posibilidad a que el mercado sea más dinámico, brindando la posibilidad de seleccionar las diferentes opciones propuestas (Long Call y Short Call); estando al alcance de los agentes que intervienen de manera directa o indirecta en la producción de carbón térmico.

Durante la realización del derivado climático, hubo carencia de información, ya que la mayoría de los derivados climáticos se enfocan al estudio de la temperatura y no al de la precipitación, siendo este último nuestro factor de estudio, es por este motivo que el método “Burn Analysis” fue el único posible para valorar el modelo.

Es de suma importancia determinar con claridad y exactitud la variable climática que más afecta la producción de carbón térmico, cuando se está pensando en desarrollar un modelo de medición óptima, ya que dicha variable se convertirá en el activo subyacente sobre el cuál se establezca el contrato.

En la actualidad se presentan un mercado que ofrece una amplia gama de activos que generan beneficios, aun así, el desarrollo de los mercados de derivados se ha venido desacelerando, por motivos como la dificultad de encontrar el precio conveniente para transar estos instrumentos, esta

dificultad surge, ya que un activo subyacente en un contrato de derivados se comporta de manera muy diferente a otro tipo de activos financieros.

7. REFERENCIAS

- Association, W. C. (Septiembre de 2014). *World Coal Association*. Recuperado el 12 de Febrero de 2015, de World Coal Association: <http://www.worldcoal.org/resources/coal-statistics/>
- BME. (2014). Recuperado el 1 de Octubre de 2014, de BME CLIMA Web site: <http://www.bmeclima.es/asp/Comun/Pagina.aspx?id=esp&l1=Riesgo&f=Home>
- Bolsa de Valores de Colombia BVC, X. S. (2009). *Estudio de Factibilidad Nuevo Mercado de Derivados Estandarizados sobre Commodities Energéticos*. Bogotá, Colombia. Obtenido de http://www.derivex.com.co/accionistas/Asamblea%20de%20Constitucion/Indice/Documentos_Asamblea/9_Estudio%20de%20Factibilidad%20DERIVEX.pdf
- BVC, X. (2009). *El mercado eléctrico de lo físico a lo financiero*. Colombia. Recuperado el 24 de Septiembre de 2014, de <http://www.xm.com.co/BoletinXM/Documents/fiab.pdf>
- Carreño, S. (2013). *Diseño de un Producto Derivado Climático para la Piña en Santander*. Recuperado el 20 de Abril de 2015
- Castro, M. (2009). *Managing Weather Risk with Rainfall Option*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 1 de Octubre de 2014, de <http://www.econlink.com.ar/derivados-climaticos>
- CERREJÓN. (2014). Recuperado el 17 de Septiembre de 2014, de CERREJÓN: <http://www.cerrejon.com/site/nuestra-empresa.aspx>
- CorpoGuajira. (Febrero de 2011). *Plan de Gestión Ambiental*. Recuperado el 5 de Abril de 2015, de Plan de Gestión Ambiental: http://www.corpoguajira.gov.co/web/attachments_Joom/article/57/PGAR.pdf
- Dinero. (14 de Mayo de 2012). Producción de Carbón resistió lluvias del primer semestre. *Dinero*. Recuperado el 28 de Marzo de 2015, de <http://www.dinero.com/pais/articulo/produccion-carbon-resistio-lluvias-del-primer-trimestre/150948>
- Encolombia. (2014). Recuperado el 25 de Septiembre de 2014, de Encolombia: <http://www.encolombia.com/economia/economicolombiana/carbon/>
- IDEAM. (7 de Julio de 2011). *Diagnóstico Situación de Riesgos Hidrometeorológicos en Colombia y Avances en la Zonificación de Riesgos*. Recuperado el 27 de Febrero de 2015, de http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/36666164373034386433323930303464/10._Situacion_del_riesgo_de_desastres_en_Colombia_IDEAM.pdf
- IDEAM. (3 de Marzo de 2015). *Características Climatológicas de Colombia*. Recuperado el 5 de Marzo de 2015, de <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?lServicio=Publicaciones&lTipo=publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&id=812>

- Juan Sergio Cruz, A. L. (2010). *Modelo analítico de derivados de clima para eventos específicos de riesgo en la agricultura en Colombia*. Universidad Javeriana, Bogotá. Obtenido de <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/view/1179>
- María E. Serrano, J. Á. (2010). *Modelos Matemáticos para la Valoración de Opciones*. Bucaramanga: Unab. Recuperado el 14 de Febrero de 2015
- Mussio, V. (s.f.). *DERIVADOS CLIMÁTICOS APLICADOS A LA AGRICULTURA*. Universidad del Rosario, Argentina, Rosario. Obtenido de <http://www.fundaj.gov.br/geral/observanordeste/veronicamussio.pdf>
- Portafolio. (17 de Enero de 2011). Invierno bajó la producción de carbón. *Portafolio*. Obtenido de <http://www.portafolio.co/economia/invierno-la-produccion-carbon>
- Portafolio. (26 de Septiembre de 2011). Lluvias afectan a la producción de carbón en el Cerrejón. *Portafolio*. Obtenido de <http://www.portafolio.co/economia/lluvias-afectan-produccion-carbon-el-cerrejon>
- Portafolio. (13 de Febrero de 2015). Colombia Produjo 88,5 millones de toneladas de Carbón. *Portafolio*. Recuperado el 28 de Marzo de 2015, de <http://www.portafolio.co/economia/produccion-carbon-2014-885-millones-toneladas>
- Rodriguez. (29 de Septiembre de 2012). *LOS DERIVADOS FINANCIEROS: HISTORIA, TEORÍAS, DATOS Y EL CASO PERUANO*. Recuperado el 7 de Abril de 2015, de LOS DERIVADOS FINANCIEROS: HISTORIA, TEORÍAS, DATOS Y EL CASO PERUANO: <https://es.scribd.com/doc/108016427/LOS-DERIVADOS-FINANCIEROS-HISTORIA-TEORIAS-DATOS-Y-EL-CASO-PERUANO>
- ROFEX. (2014). *CONTRATOS DE FUTUROS Y OPCIONES SOBRE PETRÓLEO*. Colombia. Recuperado el 24 de Septiembre de 2014, de <http://www.rofex.com.ar/upload/reglamentos/guia%20de%20negociaci+%C2%A6n%20Petr+%C2%A6leo.pdf>
- S.A, P. S. (2012). Recuperado el 25 de Septiembre de 2014, de Pensemossi: http://www.pensemossi.com/web/index.php?option=com_content&view=article&id=90:l-cabon-en-colombia&catid=38:todos&Itemid=56
- SALGADOR, J. P. (26 de Julio de 2010). *Contratos Forwards*. Recuperado el 7 de Abril de 2015, de Contratos Forwards: <http://www.gerencie.com/contratos-forwards.html>
- SIAC. (1 de Marzo de 2015). *El Clima de Colombia*. Recuperado el 3 de Marzo de 2015, de <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=686&conID=1222&pagID=1480>
- SIMCO. (2012). *Cadena del Carbón*. Colombia. Recuperado el 17 de Agosto de 2014, de <http://www.simco.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=ghcA7YSxZko=>
- SIMCO. (2013). *PRODUCCIÓN Y EXPORTACIONES DE CARBÓN EN COLOMBIA PRIMER TRIMESTRE 2013*. Colombia. Recuperado el 15 de Agosto de 2014, de

- http://www.simco.gov.co/simco/Portals/0/Otros/produccion_y_exportaciones_I_Trim_2013.pdf
- SIMCO. (s.f.). *Comportamiento de la Producción y Exportaciones de Carbón Primer Semestre y Segundo Trimestre de 2013*. Recuperado el 3 de Marzo de 2015, de <http://www.simco.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=V7WCOMCG9tU%3D&tabid=110>
- SIMCO, M. d. (Agosto de 2014). *Producción y Exportaciones de Carbón en Colombia Segundo Trimestre 2014*. Recuperado el 12 de Febrero de 2015, de <http://www.minminas.gov.co/documents/10180/558364/ProduccionExportacionesCarbonSegundoTrimestre2014.pdf/90fc1d10-a332-4092-b8c5-181623739dbf>
- TABLADO, L. Á. (10 de Septiembre de 2012). *Weather Derivates*. Universidad de León. Recuperado el 25 de Septiembre de 2014, de Weather Derivates: https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/1893/71551554A_GADE_septiembre12.pdf?sequence=1
- Toda-Colombia. (2013). *Clima Colombiano- Factores Atmosféricos*. Recuperado el 5 de Abril de 2015, de Clima Colombiano- Factores Atmosféricos: <http://www.todacolombia.com/geografia/climacolombiano.html>
- UPME. (s.f.). *La Cadena del Carbón*. Colombia. Recuperado el 15 de Agosto de 2014, de http://www.upme.gov.co/Docs/Cadena_carbon.pdf
- Vargas, P. M. (17 de Enero de 2011). Invierno bajó la producción de carbón; se dejó de producir cerca de 8,5 millones de toneladas. *Portafolio*. Recuperado el 15 de Agosto de 2014, de <http://www.portafolio.co/economia/invierno-la-produccion-carbon>
- Vatia, N. (11 de Febrero de 2011). *Sector Minero*. Recuperado el 20 de Marzo de 2015, de Sector Minero: <http://noticias.vatia.com.co/2011/FEBRERO/11-FEBRERO/Mineria.pdf>
- Wikipedia. (3 de Marzo de 2015). *Clima de Colombia*. Recuperado el 5 de Marzo de 2015, de http://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_Colombia
- Xm. (2009). *Bolsa de Valores de Colombia y XM Compañía de Expertos en Mercados presentan proyecto de mercado de derivados energéticos*. Colombia. Recuperado el 24 de Septiembre de 2014, de <http://www.xm.com.co/BoletinXM/Pages/Derivadosmay27.aspx>