

El carbón: fuente de energía de la Región Central



UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

*GRUPO DE INVESTIGACIÓN XUÉ
SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN BARIÓN*



2020



Convenio Interadministrativo 080 de 2019. Región Administrativa y de Planeación Especial RAP-E – Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Director RAP-E:

- Doctor Fernando Florez Espinoza

Supervisor Convenio:

- Ingeniero Jorge Eduardo Aya Rodríguez

Responsable del eje de Infraestructura, transporte, logística y servicios públicos.



Rector Universidad Distrital Francisco José de Caldas:

- Doctor Ricardo García Álvarez

Director Idexud:

- Ingeniero Carlos Yezid Rozo Álvarez

Equipo Técnico:

- César Andrés Rincón Triana
- Alejandra Patarroyo
- Miguel Ángel Ocaciones
- Jaime Adrián Matéus Ramírez
- Wendy Katherine Villarraga Clavijo
- Oscar Daniel Guerrero Mora
- José Alexander Ovalle Murcia
- Heguar Stins Goyeneche Mendivelso

Equipo Específico:

- Alejandro Hurtado Beltrán

Coordinadora Grupo/Semillero de Investigación:

- Nubia Marcela Rodríguez Figueroa

Director Grupo/Semillero de Investigación:

- Ingeniero Andrés Escobar Díaz

Contenido

1. Introducción	6
2. Metodología.....	6
3. Aspectos generales del Carbón	8
3.2. Carbón térmico	11
3.2.1. Demanda.....	11
3.2.2. Oferta	14
3.3. Carbón metalúrgico	15
3.3.1. Demanda.....	15
3.3.2. Oferta	16
4. La minería de carbón en la Región Central.....	18
4.1. Consideraciones preliminares.....	18
4.2. Institucionalidad de la minería de carbón	19
4.3. Normatividad en seguridad minera	20
4.3.1. Políticas ambientales de la minería de carbón.....	20
4.4. Mercado del carbón en la Región central.....	21
4.4.1. Producción de carbón.....	22
4.4.2. Reservas de carbón.....	22
4.4.3. Exportaciones de carbón	23
4.4.4. Consumo de carbón en Termopaipa y Termozipa	23
4.4.5. Balance del mercado del carbón.....	24
4.5. El carbón en la Región Central	25
4.5.1. Departamento de Boyacá	25
4.5.1.1. Minería de carbón.....	25
4.5.1.2. Calidad del carbón.....	26
4.5.1.3. Producción de carbón.....	27
4.5.2. Departamento de Cundinamarca	28
4.5.2.1. Minería de carbón.....	28
4.5.2.2. Calidad del carbón.....	28
4.5.2.3. Producción de carbón.....	30
4.6. Plantas térmicas a carbón en la Región Central	30
4.6.1. Emisiones.....	33
4.6.2. Eficiencia energética.....	34
5. Impacto socio ambiental	35
5.1. Problemas e inconvenientes.....	35
5.2. Objetivos y soluciones	36

5.3. Ecosistema	36
5.3.1. Beneficios socioeconómicos	38
5.4. Entidades gubernamentales, ambientales y privadas	40
5.4.1. Organismos de control.....	40
5.4.2. Entidades gubernamentales	40
5.4.3. Entidades privadas	40
5.4.4. Organismos internacionales de regulación	40
6. Conclusiones	42
7. Recomendaciones	43
8. Bibliografía.....	44

SIGLAS Y ABREVIATURAS

UPME – Unidad de Planeación Minero Energética

SGC – Sistema Geológico Colombiano

RAPE – Región Administrativa y de Planeación Especial

FNCER – Fuentes No Convencionales de Energía Renovable

ERNC – Energías Renovables No Convencionales

GNL – Gas Natural Licuado

CO₂ – Dióxido de Carbono

BOF – Basic Oxigen Furnace (Horno Básico de Oxígeno)

PIB – Producto Interno Bruto

DNP – Dirección Nacional de Planeación

ANM – Agencia Nacional de Minería

MINHACIENDA – Ministerio de Hacienda y Crédito Público

MINMINAS – Ministerio de Minas y Energía

MADS – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Cz – Cenizas

Mv – Materias Volátiles

CF – Carbono Fijo

St – Azufre total

PC – Poder Calorífico

SO₂ – Dióxido de azufre

NO_x – Óxidos de nitrógeno

CO – Monóxido de carbono

MP – Material Particulado

CORPOBOYACA – Corporación Autónoma de Boyacá

CAR – Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

Introducción

El carbón es un recurso importante para la economía colombiana, con unas regalías considerables destinadas a rubros de orden nacional y departamental. Si bien presenta unos niveles de emisión en el proceso de combustión, el carbón es indispensable para diferentes sectores de la industria; uno de ellos es el sector siderúrgico que utiliza el coque (subproducto del carbón) para la producción de hierro.

En este documento se realiza un análisis sobre el mercado y el uso del carbón en los departamentos objeto de estudio: Boyacá y Cundinamarca. En el primer capítulo se dan a conocer aspectos relevantes del mercado del carbón térmico y el carbón metalúrgico, entendiendo estos dos, como una clasificación del mineral por tipo de uso. En el segundo capítulo se abordan todos los aspectos de la minería de carbón en la Región Central, entre otros: regulación, mercado, composición del mineral y plantas térmicas.

Finalmente, se realiza una descripción de los impactos a nivel social y ambiental, dando a conocer algunos aspectos que se deben tener en cuenta en cualquier proyecto minero, así como algunas medidas del control del riesgo, para la exploración y la explotación de carbón en minas subterráneas.

1. Metodología

El convenio interinstitucional 080 de 2019 suscrito entre la Región Administrativa y de Planeación Especial (RAPE) y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, tiene como objetivo la caracterización de la matriz energética de la Región Central y la identificación del potencial energético.

En el proceso de identificación de las temáticas a abordar, en el marco del convenio, se acudió al apoyo de la subdirección de demanda de la UPME, en cabeza del doctor Carlos García, quien manifestó la importancia de abordar el carbón como energético, dada la cantidad de reservas presentes en dos de los cinco departamentos de la Región Central: Cundinamarca y Boyacá.

El proceso de investigación que comprende recopilación y análisis de la información, se ha evidenciado que las cifras de producción y exportación de carbón a nivel regional, son significativamente importantes. Así mismo, se consideró pertinente hablar sobre diferentes aspectos, los cuales incluyen:

- Descripción del carbón y sus diferentes clases
- Aspectos importantes de la generación de energía a carbón
- Composición química del carbón
- Características relevantes de la minería de carbón en los departamentos objeto de estudio
- Impacto social y ambiental de la minería de carbón
- Producción y comercialización de coque
- Regulación ambiental

Los temas abordados en el documento, presentan una caracterización general, permitiendo identificar los municipios con el mayor potencial carbonífero y algunos

aspectos importantes para la ejecución de la minería en los departamentos objeto de estudio.

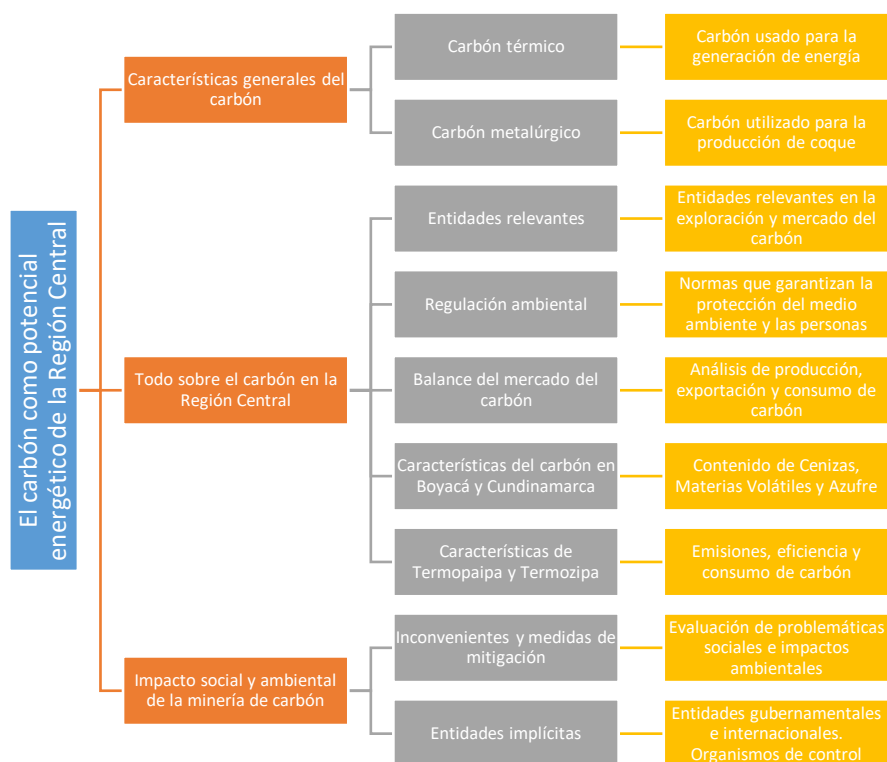


Figura 1. Temas abordados en el documento. Fuente: elaboración propia.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Determinar el potencial carbonífero de los departamentos de la Región Central (particularmente Boyacá y Cundinamarca) visibilizando su importancia como energético de la región.

2.2. Objetivos específicos

- Indagar y analizar cifras de producción, exportación y consumo de carbón en los departamentos de la Región Central.
- Determinar el contenido de Cenizas, Materias Volátiles y Material Particulado del carbón explotado en las diferentes zonas carboníferas de la Región Central.
- Investigar parámetros de funcionamiento de las centrales térmicas a carbón de la Región Central, determinando su importancia para el Sistema Interconectado Nacional.
- Analizar los impactos socio-ambientales de la actividad extractiva del carbón de tipo subterránea.
- Dar a conocer las entidades que promueven y permiten la extracción y el procesamiento del carbón en la Región Central.

3. Aspectos generales del Carbón

El carbón es un mineral compuesto por carbono, formado a partir de la descomposición durante millones de años de material orgánico. Su formación se lleva a cabo, gracias a la descomposición de plantas en áreas pantanosas, dado los bajos niveles de oxígeno en las aguas circundantes. Este proceso, junto con inundaciones, produce temperaturas y presiones elevadas que posteriormente permiten la formación del carbón. Todo lo anterior implica la transformación del material orgánico de las plantas a niveles más puros de carbono. El enterramiento de la cuenca carbonífera, conlleva a que los restos orgánicos pierdan hidrogeno, oxígeno y nitrógeno y aumenten su proporción de carbono, producto de las altas presiones y temperaturas [1].

3.1. Clasificación del carbón

El carbón se puede clasificar según su composición de [2] [3]:

- **Cenizas:** Define la calidad del carbón en la combustión. A mayor contenido de cenizas menor poder calorífico presentará.
- **Materias Volátiles:** Este parámetro caracteriza la estabilidad de la llama tras la ignición, así como la facilidad para la producción de esta. Un carbón con bajo contenido en volátiles arde muy lentamente produciendo una llama duradera.
- **Carbono fijo:** Parámetro que determina el poder calorífico del carbón. Entre mayor sea el porcentaje de carbono, mayor será su poder calorífico.
- **Humedad:** en carbones de bajo rango, hace que aumente su costo de transporte dado que aumenta el peso muerto del carbón. Así mismo baja la temperatura de la llama, haciéndose complejo el proceso de quemado.

Cada clase de carbón presenta un porcentaje determinado; esto se aprecia en la Tabla 1.

Tipo de carbón	Carbón fijado	Materia volátil	Ceniza	Humedad	Mercados de consumo
<i>Antracita</i>	> 85%	1% - 5%	5% - 10%	3% - 10%	<i>Calefacción doméstica y comercial</i>
<i>Bituminoso</i>	60% - 80%	16% - 37%	5% - 10%	2% - 15%	<i>Usos metalúrgicos e industriales, generación de energía</i>
<i>Sub-bituminoso</i>	35% - 55%	39% - 43%	3% - 14%	10% - 35%	<i>Generación de energía, vapor industrial</i>
<i>Lignita</i>	25% - 35%	40% - 50%	10% - 15%	35% - 60%	<i>Generación de energía</i>

Tabla 1. Clasificación del carbón, según su composición. Fuente:[1] y [4]

Las reservas a nivel mundial, así como una clasificación alterna del carbón, se aprecia en la Figura 2. A continuación, una pequeña descripción de las diferentes clases de carbón.

3.1.1. Turba

Material orgánico compacto, formado por una masa esponjosa y ligera en la que aún se aprecian los componentes vegetales que la originaron. Se emplea como combustible y en la obtención de abonos orgánicos [5] .

En su primera etapa ejerce un proceso por el que posteriormente se transforma en carbón mineral. Se forma como resultado de la putrefacción y carbonificación parcial de la vegetación en el agua ácida de pantanos, marismas y humedales [5].

3.1.2. Lignito

Carbón de calidad intermedia el cual se encuentra entre la turba y el carbón bituminoso. Su estructura es fibrosa siendo de color negro pardo. Su capacidad calorífica es baja presentando un alto contenido en agua y bajo contenido de carbono [5].

3.1.3. Subbituminosos y bitumoso (hulla)

Presenta una riqueza considerable de carbón fijo y un contenido en volátiles que produce una llama medianamente estable. Este combustible fósil es de color negro mate y presenta un mayor poder calorífico que el lignito [5].

3.1.4. Antracita

Presenta el mayor contenido de carbono fijo y el menor de materia volátil de todas las clases, produciendo una llama altamente duradera. Físicamente presenta un color negro con una estructura cristalina brillante [5].

3.2. Coque

Residuo duro como resultado de la destilación del carbón (Sub-bituminoso). El coque se utiliza como reductor en siderurgia, para la fundición de hierro y obtener acero a partir del arrabio. Está compuesto mayoritariamente de carbono y minoritariamente de ceniza. Así mismo posee un alto poder calorífico [5].

En los últimos años se produjo un aumento de la demanda de coque metalúrgico, dado el crecimiento de la industria produciendo así su posterior fabricación [5].

3.3. Extracción y procesamiento

El tipo, ubicación, cantidad y cualidades económicas de un mineral son factores que determinan en qué forma éste será extraído y procesado [1].

Las técnicas subterráneas presentan un menor impacto ambiental, en términos de las alteraciones al suelo. Cuando los mantos de carbón se encuentran en la cima de un cerro, se vierten los excesos de tierra en los valles de ríos, con altos impactos ambientales [1].

Para la **extracción a cielo abierto** es usada una máquina de excavación de grandes dimensiones, conocida como dragalina. El transporte del mineral desde la mina a la planta de procesamiento, se realiza generalmente mediante camiones, bandas transportadoras o trenes [1].

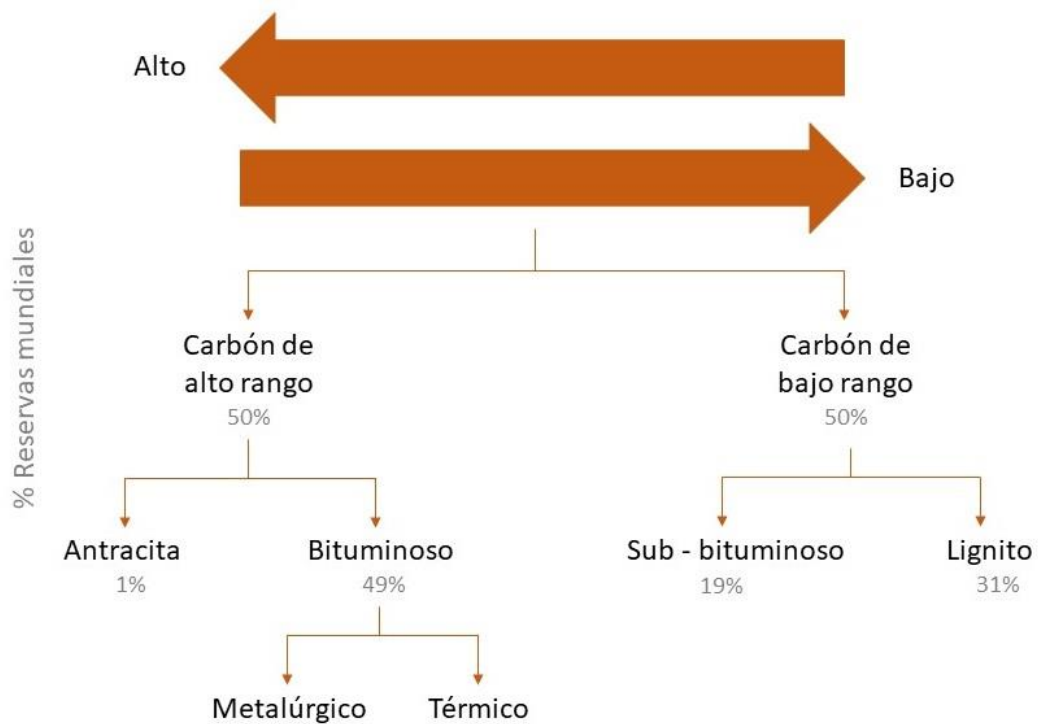


Figura 2. Reservas mundiales de carbón por rango. Fuente: [6]

Por otro lado, la **extracción subterránea**, consiste en la perforación hasta el mineral, para luego extraerlo y procesarlo en la superficie. Una mina subterránea puede presentar dos métodos para alcanzar y recoger el mineral. El primero, llamado método de cámaras y pilares, requiere la construcción de túneles a través de los cuales se mantienen pilares naturales para proteger la integridad estructural de la mina subterránea. El segundo método, llamado *longwall mining*, utiliza una máquina de grandes dimensiones llamada rozadora-cargadora para tirar y empujar a través de veta de mineral expuesta, con lo que automáticamente se extrae el carbón. Este proceso es automatizado, y requiere de una inversión económica importante [1].

El carbón directamente extraído de la mina puede estar en condiciones para la venta directa. Sin embargo, puede suceder que el carbón extraído se contamine con otros minerales y/o con materia orgánica que no ha completado totalmente el proceso de carbonización. Si este es el caso, el carbón debe ser limpiado y concentrado [1].

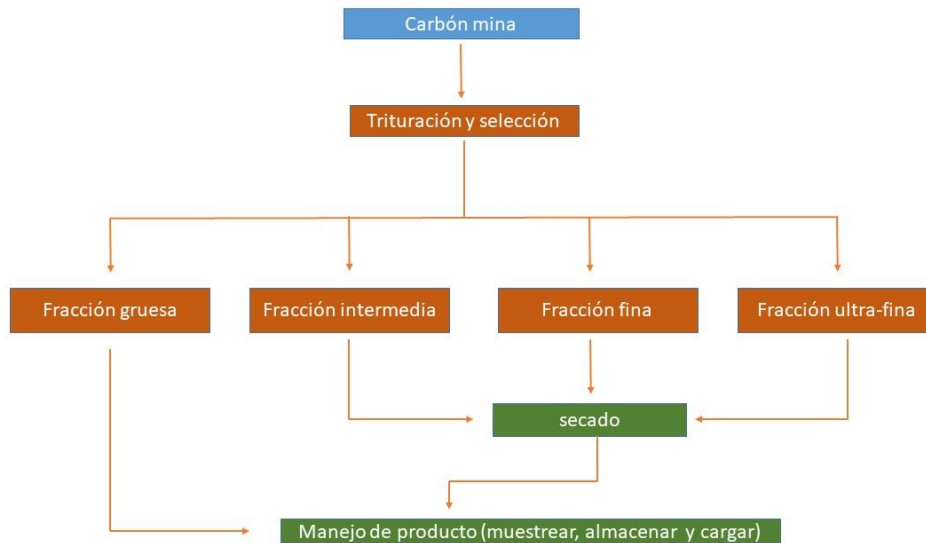


Figura 3. Métodos de procesamiento del carbón. Fuente [1]

La planta de lavado debe ser diseñada específicamente para el procesamiento de un tipo de carbón. Posterior a la limpieza, se selecciona y almacena en silos, para luego ser exportado [1].

Según su uso el carbón puede ser [1]:

- **Térmico:** carbón usado para la generación de vapor en las centrales térmicas de producción de energía. El vapor puede ser usado en otras aplicaciones para diferentes campos en la industria.
- **Metalúrgico:** carbón usado en la industria siderúrgica como reactor químico. Este proceso tiene lugar cuando el carbón se combina con el oxígeno de mineral para convertir el óxido de hierro a hierro puro.

3.4. Carbón térmico

En el proceso de combustión del carbón térmico, las impurezas se eliminan fácilmente como cenizas. Los carbones con alto contenido de azufre solamente pueden ser usados por centrales eléctricas que estén equipadas con sistemas de control de emisiones.

3.4.1. Demanda

Hacia 2017, el carbón térmico se consolidó como el principal combustible utilizado para la generación de electricidad a nivel mundial. La generación térmica a carbón, comparada con la hidro y la nuclear, es relativamente económica y representa cortos tiempos de instalación [1] [7].

Como se aprecia en la Figura 4, la demanda de carbón térmico se antepone a la demanda de carbón metalúrgico en un 85%. Así mismo, la mayor parte de la demanda de carbón térmico, está asociada a la generación de energía en centrales térmicas, contando con una participación del 73%. Los demás usos están ligados a la industria siderúrgica y cementera [1] [7].

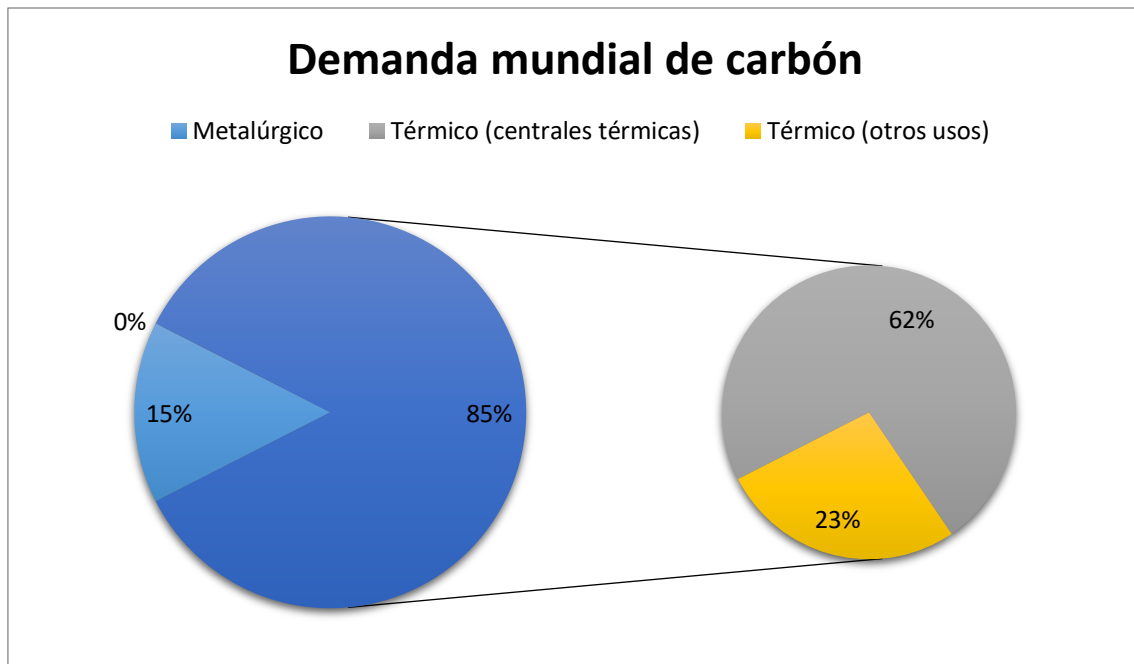


Figura 4. Demanda mundial de carbón en MTON – 2017.. Fuente:[1] y [7]

La Figura 5, presenta los factores determinantes en la producción de carbón y su lógica de proceso.

Diversos factores medioambientales son prioridad en la agenda política de las principales economías del mundo, con tendencias globales que consolidan un modelo de transición energética. El objetivo de modelo en mención, contempla una generación de energía con emisiones reducidas de carbono, priorizando el desarrollo de tecnologías de generación de Energía Renovable No Convencional y disminuyendo el interés en proyectos de generación a carbón [1] [7].

Múltiples son los factores que influyen un cambio en la dependencia de las fuentes de energía no renovables, buscando principalmente la reducción de emisiones contaminantes al ambiente. En la Figura 6, se aprecian algunos de los factores en mención.

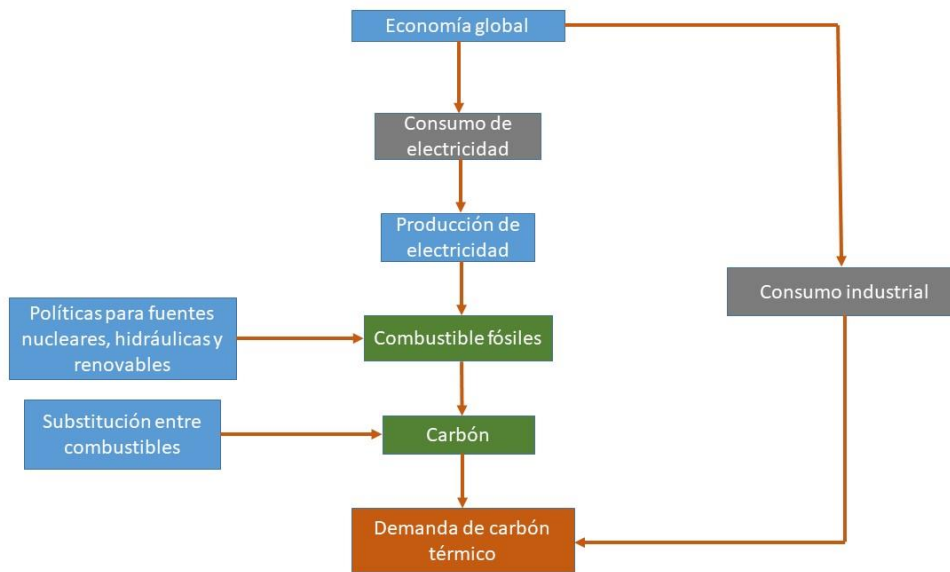


Figura 5. Determinantes en la demanda de carbón térmico. Fuente: [1]



Figura 6. Factores que promueven el uso de FNCER. Fuente: [1]

Los países que tienen una gran cantidad de centrales térmicas de generación a carbón presentan un especial interés en la transición hacia fuentes de generación como el gas. Algunas razones son expuestas en la Tabla 2.

Los situaciones más relevantes en la demanda histórica de carbón que hacen que se presente el comportamiento mostrado en la Figura 7, se presentan principalmente por los factores mostrados en la Figura 8 [1].

GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA	
GAS NATURAL	CARBÓN
<i>Bajo costo de implementación</i>	<i>Sustitución por FNCER</i>
<i>Gran número de proveedores</i>	<i>Fuente de energía más usada</i>
<i>Menores emisiones de dióxido de carbono</i>	<i>Puede generar altas emisiones</i>

Tabla 2. Propiedades de las fuentes usadas por centrales de generación de energía térmicas. Fuente:[1]

El carbón térmico, en la actualidad, enfrenta el mayor riesgo en cuanto a la demanda futura. Las emisiones de dióxido de carbono y el fenómeno del calentamiento global, es un hecho que preocupa a diferentes naciones. Sin embargo, consideraciones de este estilo, pueden presentar otra tendencia por decisiones como la tomada por el presidente de EEUU, Donald Trump, quien es escéptico a este tipo de tendencias. De

manera que al realizar una proyección de la demanda deben ser considerados diferentes escenarios [1].

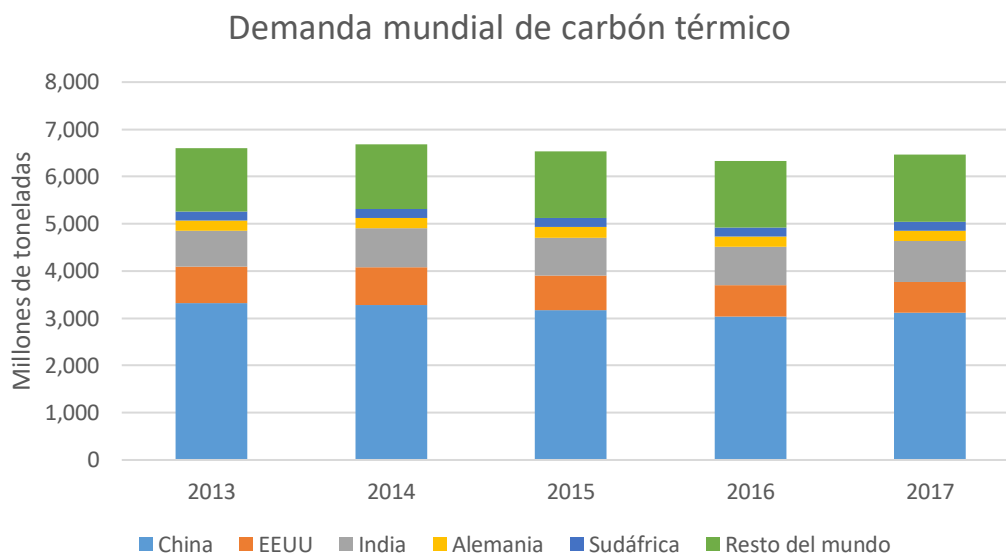


Figura 7. Demanda mundial de carbón térmico en MTon – 2017. Fuente: [1]

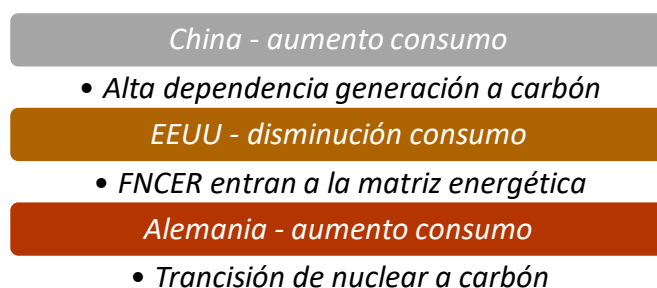


Figura 8. Factores de influencia en la demanda histórica de carbón. Fuente: [1]

3.4.2. Oferta

Actualmente, el carbón térmico sigue siendo un componente fundamental en la matriz energética a nivel global. China, produce la mayor cantidad de carbón térmico, seguido de EEUU, quien presenta una disminución significativa a 2017. Dicho comportamiento es debido principalmente a [1]:

- La competencia del gas natural como combustible.
- La generación con FNCER, que han mostrado una reducción significativa en sus costos durante la última década;
- La regulación anti-carbón de la administración Obama, que buscó la reducción de emisiones de CO2 imponiendo mayores costos ambientales a la generación eléctrica en base a carbón.

En la Figura 9, se puede apreciar el histórico de la oferta de carbón térmico a nivel mundial, que evidencia la producción de los países con los mayores niveles de producción [1]. Al comparar los niveles de demanda vs oferta (Figura 7 y Figura 9, respectivamente) a nivel mundial, es posible deducir que no todos los países productores de carbón, presentan un consumo acorde a su producción.

Oferta mundial de carbón térmico

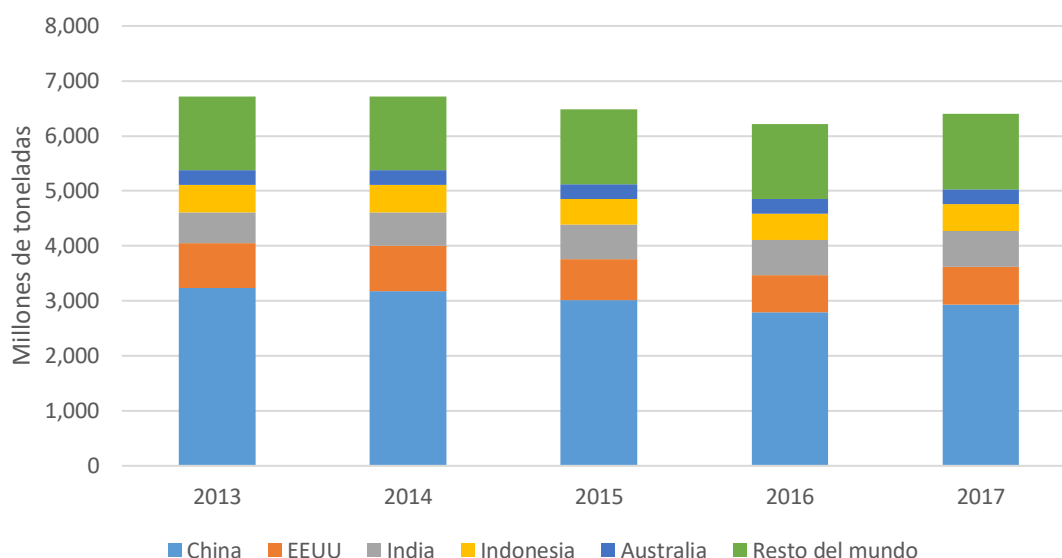


Figura 9. Oferta mundial de carbón térmico en MTON - 2017. Fuente: [1]

3.5. Carbón metalúrgico

El carbón metalúrgico se destina a la producción de acero, con propiedades específicas de plasticidad e índice de hinchamiento [8].

Su principal uso es como reductor químico en la industria metalúrgica. Este proceso tiene lugar en los hornos de fundición de hierro, en donde el carbono se combina con el oxígeno del mineral de hierro para convertir o “reducir” el óxido de hierro a hierro puro, liberando dióxido de carbono en el proceso [8].

3.5.1. Demanda

El carbón metalúrgico puede ser clasificado como: carbón pulverizado de inyección, carbón de coque duro y el Carbón de coque semi-suave. La escasez y el alto precio del coque de alta calidad ha llevado a los operadores de hornos a buscar reducir su consumo, realizando la sustitución por carbón pulverizado de inyección o por gas natural en la industria siderúrgica o a través de carbones coques de menor calidad. El esquema de la Figura 11 representa esta situación [8].

El carbón pulverizado de inyección se consume principalmente en Europa, en tanto que el carbón coque semi-suave, se consume principalmente en China donde cuentan con grandes recursos de este tipo de carbón. China, con una alta dependencia de la industria del acero, así como del mineral de hierro, presenta una alta demanda de carbón metalúrgico [8]. Cifras representativas de la demanda de carbón metalúrgico se muestran en la Figura 10.

Un sector industrial clave, es la producción de acero conocido como BOF. La producción de acero BOF presenta las cifras de consumo más altas de carbón metalúrgico a nivel mundial; algunos países con volúmenes de producción importantes son: China, Japón, Rusia y Corea del Sur.

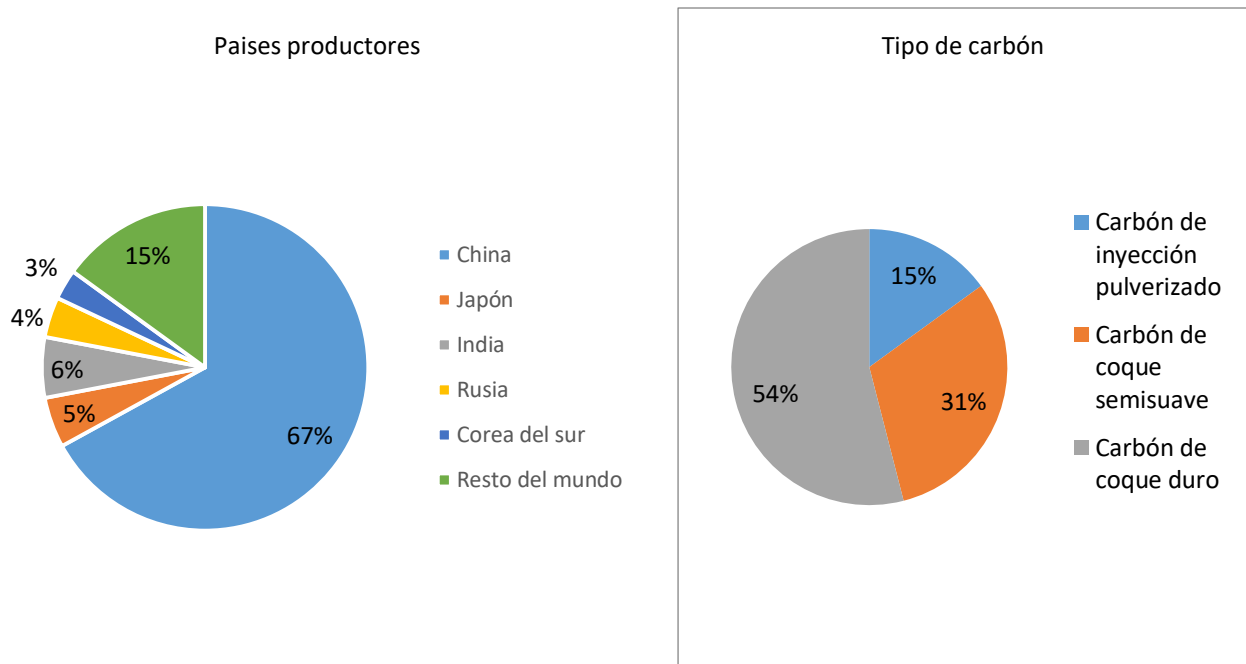


Figura 10. Demanda mundial de carbón metalúrgico en 2017 (MTon). Fuente: [8]

Si el modelo de producción del país productor de acero BOF está enfocado al sector exportador, los índices de consumo directo de carbón metalúrgico per cápita de ese país serán aún más elevados. Países como Corea del Sur, Japón y China, tienen intensidades de uso más altas que Rusia, siendo los primeros potencias exportadoras de manufacturas de acero [8].

Oferta

La mayor parte del carbón metalúrgico es procesado para la producción de coque; en el proceso, se debe remover las materias volátiles del carbón, de manera que las partículas de carbono se integren. El carbón usado para este fin, debe presentar un contenido bajo en cenizas; una pequeña parte del carbón bituminoso del mundo cumple con esta propiedad [8].

Así mismo, el carbón metalúrgico debe contar con buenas propiedades de coquización, formando así un carbón de coque fuerte, con bajos niveles de material refinado. Si éste es usado para la fabricación de acero y aleaciones metálicas, el carbón coque debe tener contenidos bajos de azufre y fósforo, siendo por ende más escaso y caro que el carbón térmico [8].

China es el principal productor de carbón metalúrgico, destinando la mayor parte de este, al consumo interno. Australia, Rusia y Estados Unidos (ver Figura 13) presentan una gran influencia en el mercado global de exportaciones, así como Mongolia y Mozambique. Estos últimos no se presentan en las estadísticas, dada su reciente entrada al mercado de producción de carbón [8].

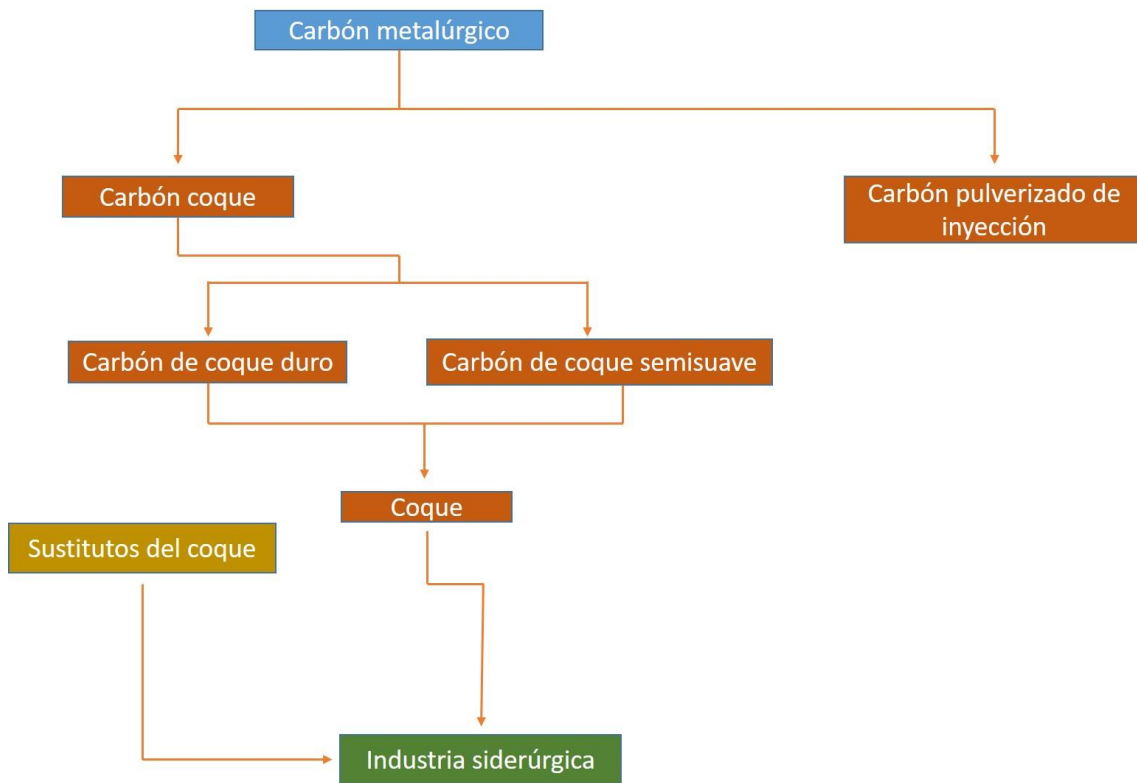


Figura 11. Clases de carbón metálgico. Fuente: [8]

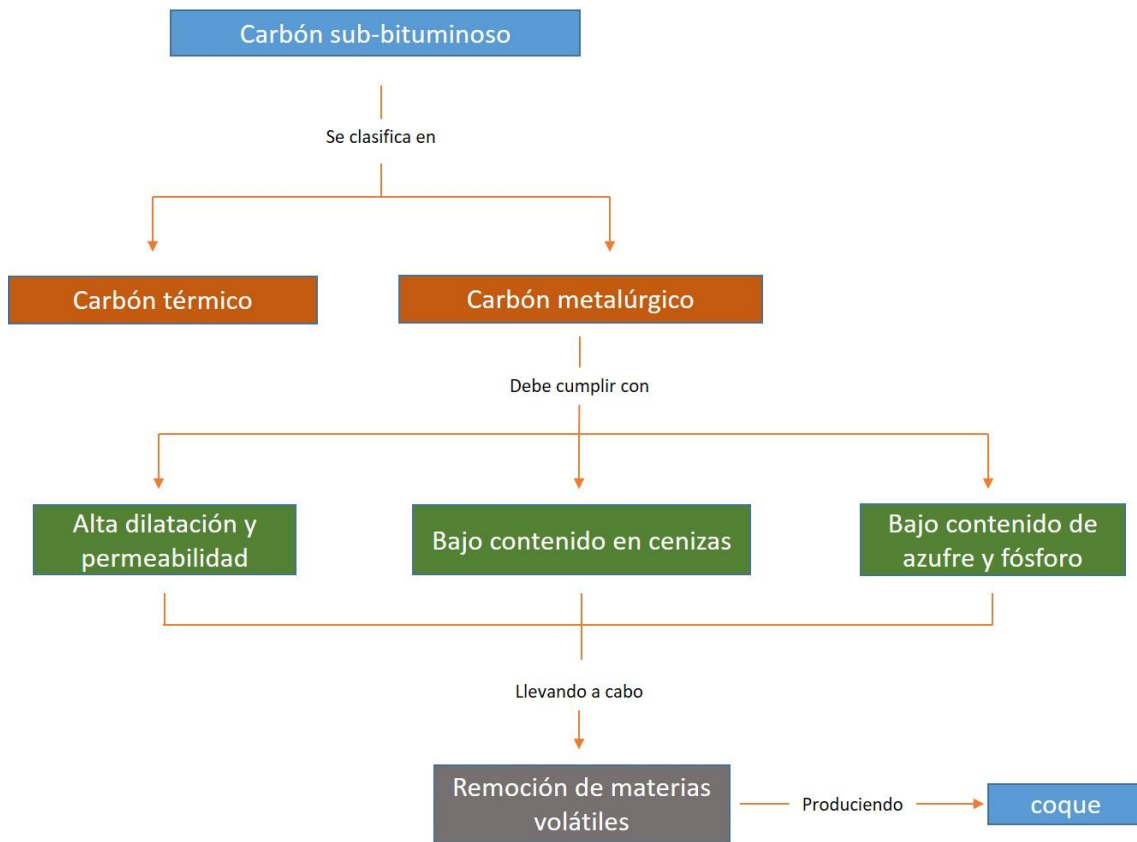


Figura 12. Proceso del carbón de coque. Fuente: [8]

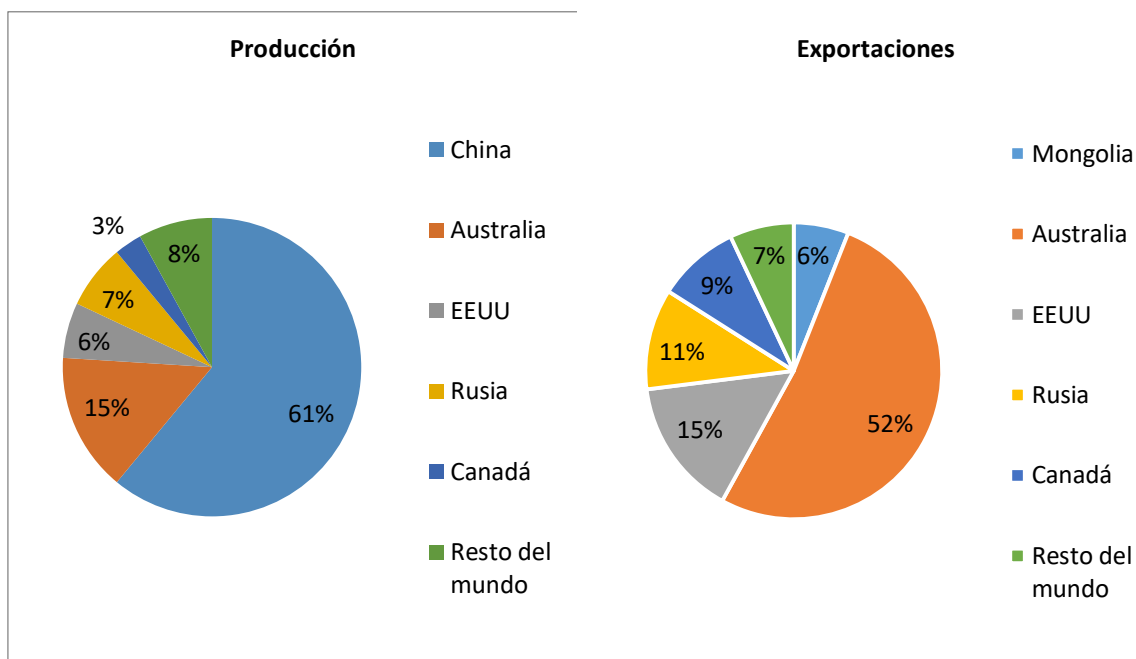


Figura 13. Producción y exportaciones internacionales de carbón metalúrgico (Mton) – 2017. Fuente: [8]

4. La minería de carbón en la Región Central

El carbón a nivel nacional representa una actividad económica importante dadas las reservas que, en su mayoría, se encuentran en los departamentos de Cesar y Guajira.

La región objeto de estudio, comprende los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Meta, Tolima y el Distrito Capital. Sin embargo, la mayor cantidad de reservas carboníferas se encuentran en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, con unos niveles de producción importantes y con un carbón de alto poder calorífico.

En el presente capítulo se realiza un análisis de diferentes cifras, permitiendo realizar un balance de diferentes actividades del carbón en los departamentos productores. Así mismo, se realiza una revisión de las centrales térmicas que operan a carbón, siendo un referente del aprovechamiento del carbón en la Región para la generación de energía.

4.1. Consideraciones preliminares

Colombia posee la mayor cantidad de reservas de carbón en Latinoamérica y es el quinto exportador de carbón térmico del mundo. Reconocido mundialmente, el carbón colombiano cuenta con bajo contenido de cenizas y azufre, así como un alto contenido en volátiles y valor calorífico [9].

Los primeros ferrocarriles a vapor en Colombia, a comienzos del siglo XX, determinaron el inicio de la explotación del carbón en Colombia. El mineral, fue usado también por la industria cementera, de textiles y el sector residencial. Este mercado era atendido con producción de minas explotadas en forma rudimentaria de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Antioquia y Valle [9].

La minería del carbón en Colombia presenta un importante impacto social y laboral, especialmente en las zonas carboníferas [9].

En Colombia se produce carbón térmico y metalúrgico; en las zonas carboníferas de la costa atlántica el carbón térmico, en tanto que en el Altiplano cundiboyacense la mayor parte del carbón es metalúrgico. El carbón metalúrgico presenta un valor agregado al someterlo a un proceso de destilación para la producción de coque. En dicho proceso se emplea una mayor cantidad de personas en comparación con otros procesos mineros. Algunas consideraciones adicionales se aprecian en la Figura 14 [9].



Figura 14. Principales aspectos de la minería de carbón en Colombia. Fuente:[9]

4.2. Institucionalidad de la minería de carbón

La explotación de carbón está regida bajo una serie de parámetros que son estipulados por entidades gubernamentales, que permiten la asignación y distribución adecuada de regalías. En la Figura 15, se relaciona un esquema que permite determinar las funciones de las entidades gubernamentales más representativas en exploración, explotación y comercialización de carbón.



Figura 15. Marco institucional de la actividad minera carbonífera. Fuente: [10]

4.3. Normatividad en seguridad minera

4.3.1. Políticas ambientales de la minería de carbón

En el país, en cuanto a política ambiental, se han estipulado una serie de normas que rigen el uso de los recursos naturales, contemplando elementos como el aire, el agua, el suelo, la fauna, la flora, la biodiversidad, entre otros; las consideraciones de cada una de estas políticas se aprecian en la Figura 16.



Figura 16. Aspectos de las principales políticas ambientales de la minería de carbón. Fuente: [11]

Norma	Objetivo
Ley 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente
Ley 9 de 1979	<ul style="list-style-type: none"> Se establece el Código Sanitario Nacional. Se definen normas, programas y medidas para la protección del medio Ambiente. Se faculta al Ministerio de Salud para proferir normas para el control de la contaminación atmosférica.
Decreto 02 de 1982	<ul style="list-style-type: none"> Regula el nivel de emisiones atmosféricas.
Resolución 8321 de 1983	<ul style="list-style-type: none"> Protección y Conservación de la Audición y el Bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos.
Ley 99 de 1993	<ul style="list-style-type: none"> Se crea el Ministerio del Medio Ambiente. Se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables.
Decreto 948 de 1995	<ul style="list-style-type: none"> Prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.
CONPES 3344 de 2005	<ul style="list-style-type: none"> Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire.
Resolución 627 de 2006	<ul style="list-style-type: none"> Norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.
Resolución 601 de 2006	<ul style="list-style-type: none"> Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.
Resolución 909 de 2008	<ul style="list-style-type: none"> Normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas.
Resolución 910 de 2008	<ul style="list-style-type: none"> Niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres,
CONPES 3550 de 2008	<ul style="list-style-type: none"> Política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad del aire, calidad del agua y seguridad química
Resolución 650 de 2010	<ul style="list-style-type: none"> Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas.

Tabla 3. Regulación nacional para la protección de la salud de las personas y el patrimonio de las personas. Fuente: [12]

Así mismo la Tabla 3, relaciona las políticas ambientales más importantes, que se deben tener en cuenta en los proyectos mineros carboníferos.

Los proyectos mineros pueden mejorar las condiciones económicas de la población, pero los impactos ambientales pueden generar descontento. En un capítulo posterior se evaluarán los aspectos que influyen en la ejecución de los proyectos mineros, considerando las medidas que se deben tener en cuenta para garantizar la óptima calidad de vida de la población.

4.4. Mercado del carbón en la Región central

Si bien el mercado del carbón en la Región Central representa una pequeña porción de la producción nacional, las regalías asociadas son considerables, dadas las propiedades del mineral en la región.

Actualmente se está considerando un proyecto que permita el transporte del carbón producido al interior del país mediante trenes, de manera que al ser exportado presente las utilidades requeridas. Este proyecto se conoce como la línea ferroviaria del tren del carare.

En la Figura 17, se relacionan las entidades más relevantes en la explotación y comercialización de carbón y coque de la región.



Figura 17. Principales actores en la minería de carbón en la Región Central. Fuente: [13]

4.4.1. Producción de carbón

Como ya se había mencionado anteriormente, las mayores cifras de producción de carbón se encuentran en los departamentos de Cesar y Guajira. La minería de estos departamentos es a cielo abierto y a gran escala y quienes se encargan de la misma son grandes empresas extranjeras que presentan el capital suficiente para tecnificar de manera sólida los procesos para la extracción del mineral [14].

Después de Guajira y Cesar, los departamentos de Cundinamarca y Boyacá poseen las mayores cifras de producción de carbón, con una participación aproximada del 5% de la producción nacional y con una minería a pequeña y mediana escala. El carbón de los departamentos en mención presenta unas propiedades caloríficas interesantes, ideal para la generación de energía y la producción de coque [14].

En la Figura 18 se observa que, en cuanto a producción nacional de carbón, Cundinamarca y Boyacá cuenta con una participación del 3% (60% de la Región Central) y 2% (40% de la Región Central), respectivamente. La Región Central se ha constituido como pilar para la economía del país, con una cantidad de regalías importantes generadas a partir del mercado del carbón [14].

Producción Nacional de Carbón

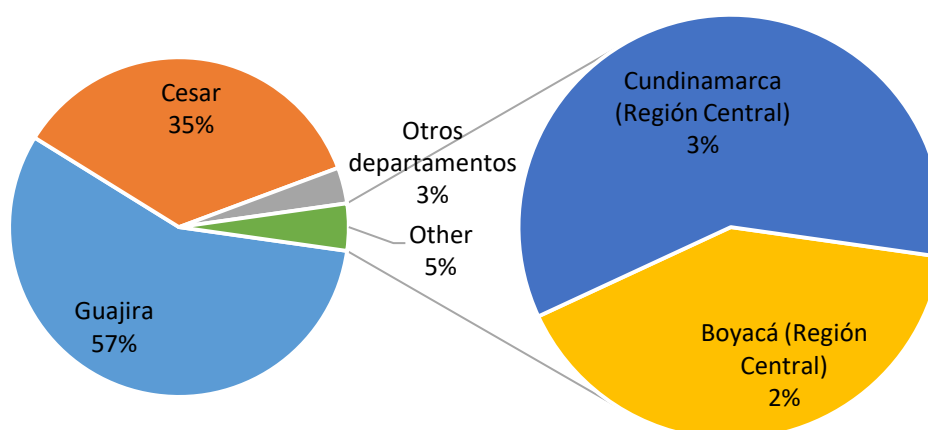


Figura 18. Producción nacional de carbón en millones de toneladas – 2017. Fuente: [15]

4.4.2. Reservas de carbón

A nivel nacional, la Región Central cuenta con unas reservas medidas importantes, contando con una participación del 6% (Ver Figura 19). Esto amplía el panorama de la minería a nivel regional y permite llevar a cabo un proceso de planeación que contemple el aprovechamiento del carbón, cumpliendo con los estándares de seguridad y ambientales. El carbón se constituye como un mineral relevante no solamente para la economía local, sino para la economía del país, aportando energía a la industria y siendo un soporte importante para el sistema eléctrico colombiano [16].

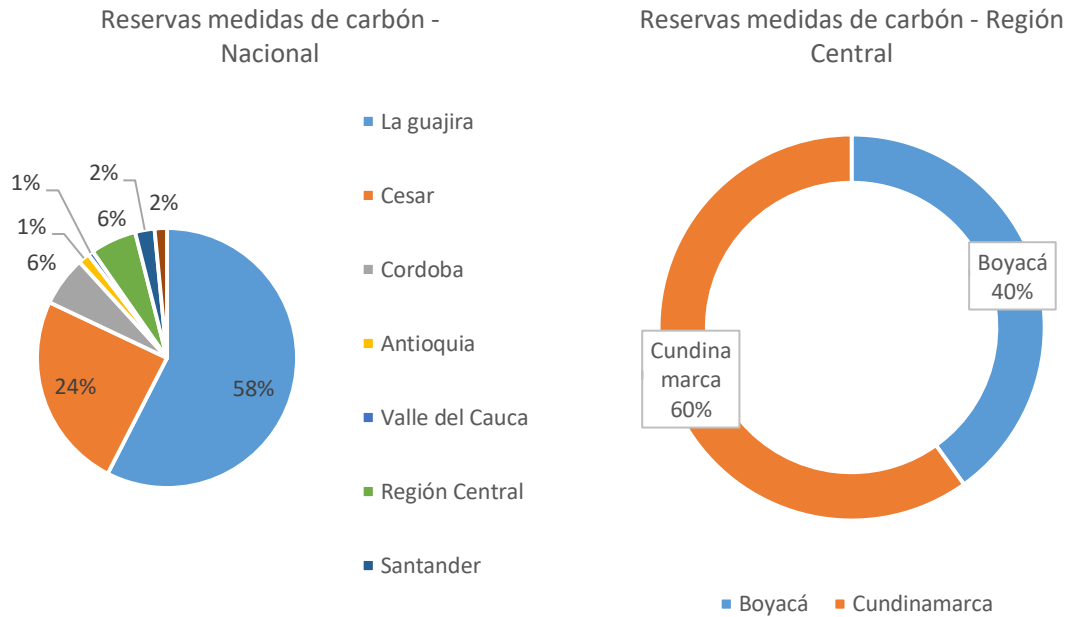


Figura 19. Reservas medidas de carbón a nivel nacional en millones de toneladas – 2017. Total: 6071.1 MTon. Fuente: [17]

El uso del carbón, permite el aumento de la economía desde el proceso de explotación, hasta su aprovechamiento para la generación de energía, dignificando las condiciones de vida de quienes habitan la región y permitiendo la apertura de actividades económicas regionales, que aportan significativamente al desarrollo económico del país.

4.4.3. Exportaciones de carbón

Los departamentos de Cundinamarca y Boyacá presentan unas cifras de exportación importantes, posicionándose en segundo lugar a nivel nacional. Si bien esto permite la solidificación de la producción de carbón, el país no cuenta con la mejor infraestructura para su transporte hasta puerto [18].

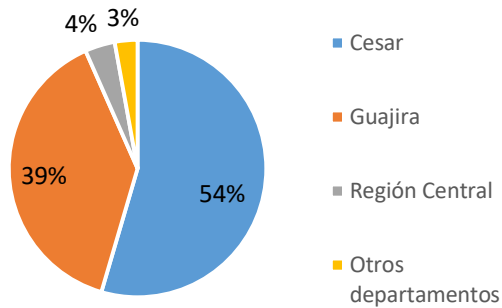
Como se aprecia en la Figura 20, las empresas mineras de Cundinamarca presentan las mayores cifras de exportación de la Región central con una participación del 70%.

Para la solidificación del proceso de exportación del carbón producido al interior del país, se deben establecer estrategias que permitan su fácil transporte hasta puerto. El reto en este aspecto, es que, en el proceso de transporte, el carbón no pierda ninguna propiedad. En numerosos estudios se han considerado el transporte de carbón mediante trenes, pero a la fecha no se cuenta con una sólida infraestructura ferroviaria [18].

4.4.4. Consumo de carbón en Termopaipa y Termozipa

La Región Central cuenta con dos importantes proyectos de generación a base de carbón, ubicados en los departamentos productores del mineral. Sin embargo, son proyectos antiguos que presentan bajas eficiencias, lo que se traduce en un alto consumo de carbón, así como en altos niveles de emisión [19].

Exportación de carbón - Nacional



Exportación de carbón - Región Central

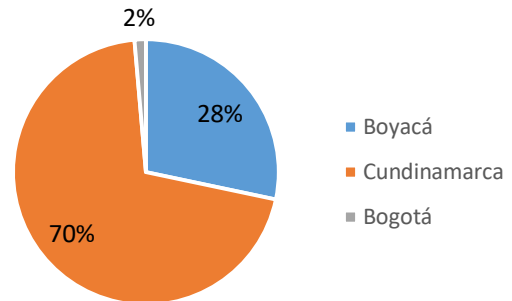


Figura 20. Exportación de carbón en Colombia en Toneladas – 2017. Fuente: [15]

En la Figura 21 se evidencia el consumo de carbón para cada una de las unidades de generación de las dos principales centrales térmicas de la región. En un capítulo posterior, se describen otros aspectos de dichas centrales.

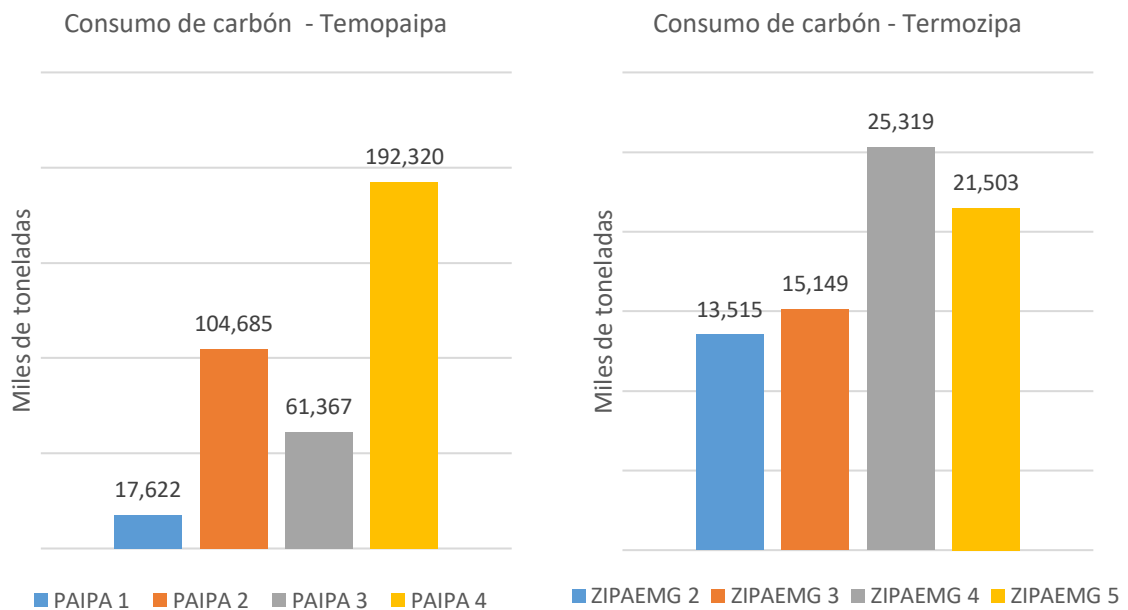


Figura 21. Consumo de carbón en las centrales térmicas de generación en la Región Central - 2017. Fuente:[15]

4.4.5. Balance del mercado del carbón

Después de realizar un análisis de cada una de las variables que compone el mercado del carbón en la Región Central, se pueden establecer diferentes aspectos para la comercialización y uso del mineral.

Como se aprecia en la Figura 22, para el año 2017, del total producido en el departamento de Cundinamarca, tan solo el 1.5% se destinó para la producción de

energía en la central Termozipa. En cuanto al departamento de Boyacá, el porcentaje asociado al consumo de la central Termopaipa asciende al 11.4%. Como se aprecia, los comportamientos de producción y consumo en centrales térmicas son inversamente proporcionales.

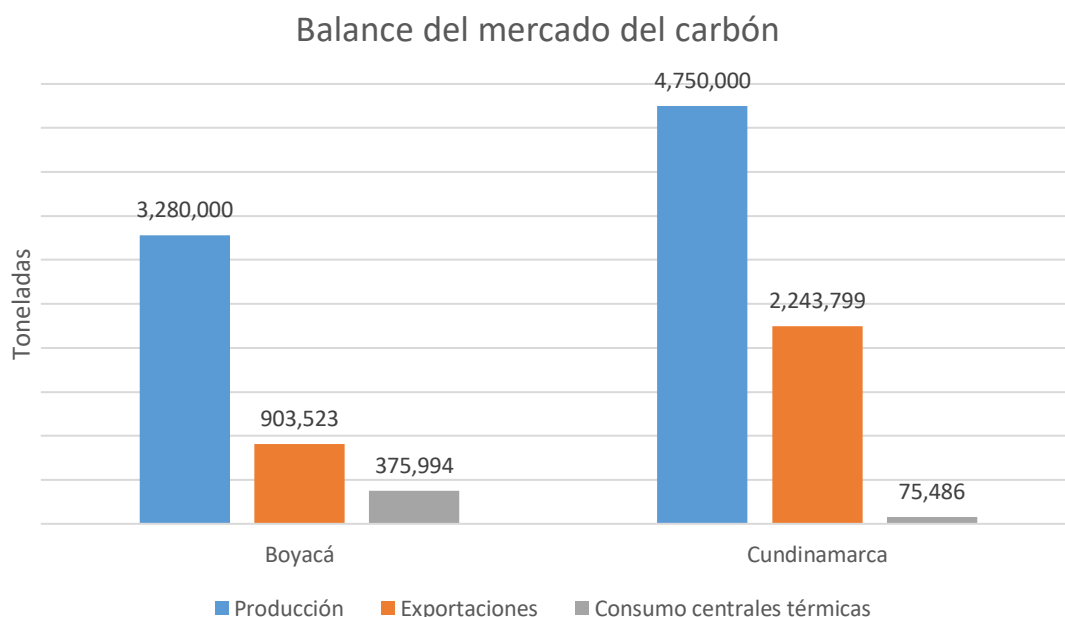


Figura 22. Balance del mercado del Carbón en los departamentos productores en toneladas, Región Central – 2017. Fuente: [15]

4.5. El carbón en la Región Central

Dado que en la Región Central hasta el momento se cuenta con potencial carbonífero en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, se realizará un análisis de la calidad del carbón encontrado en estos departamentos, así como la producción asociada a nivel municipal. Para ello, se deben tener en cuenta las características descritas en el numeral 3.1 “Clasificación del carbón”.

4.5.1. Departamento de Boyacá

4.5.1.1. Minería de carbón

La minería de carbón que se describe en la Figura 23, contempla el distrito minero paz del río, incluyendo la actividad minera en los municipios de: Tibasosa, Nobsa, Corrales, Santa Rosa de Viterbo, Belén, Paipa, Duitama, Pesca, Firavitoba, Iza, Tópaga, Socha, Tasco, Socotá, Monguí, Jericó y Paz del Río [20].

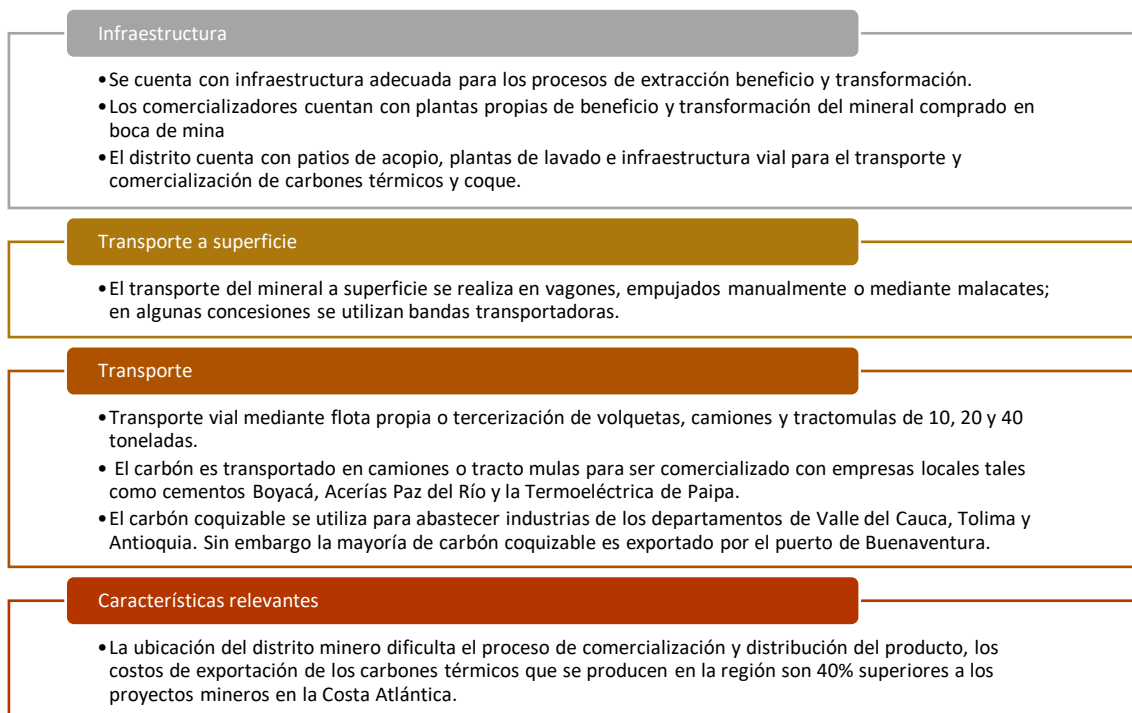


Figura 23. Aspectos de la minería de carbón en el departamento de Boyacá. Fuente: [21]

4.5.1.2. Calidad del carbón

El área carbonífera en Boyacá va desde el municipio de Jericó, en el norte, hasta los límites con el departamento de Cundinamarca. La principal área minera se encuentra entre los municipios de Sogamoso y Jericó, la cual cuenta con carbones tipo bituminosos.

Como se aprecia en la Figura 24 el carbón que presenta la mejor calidad es el que se encuentra en la zona de Checua – Lenguazaque, dado las siguientes consideraciones:

- Bajo contenido de cenizas: bajos niveles de contaminantes
- Bajo contenido de materias volátiles: altamente aprovechable (rendidor).
- Alto porcentaje de Carbono Fijo: alto potencial calorífico.

En este sentido un carbón de alta calidad presenta un alto poder calorífico, esto se evidencia en la Figura 25, para el caso del carbón del sector Checua - Lenguazaque.

Calidad del carbón

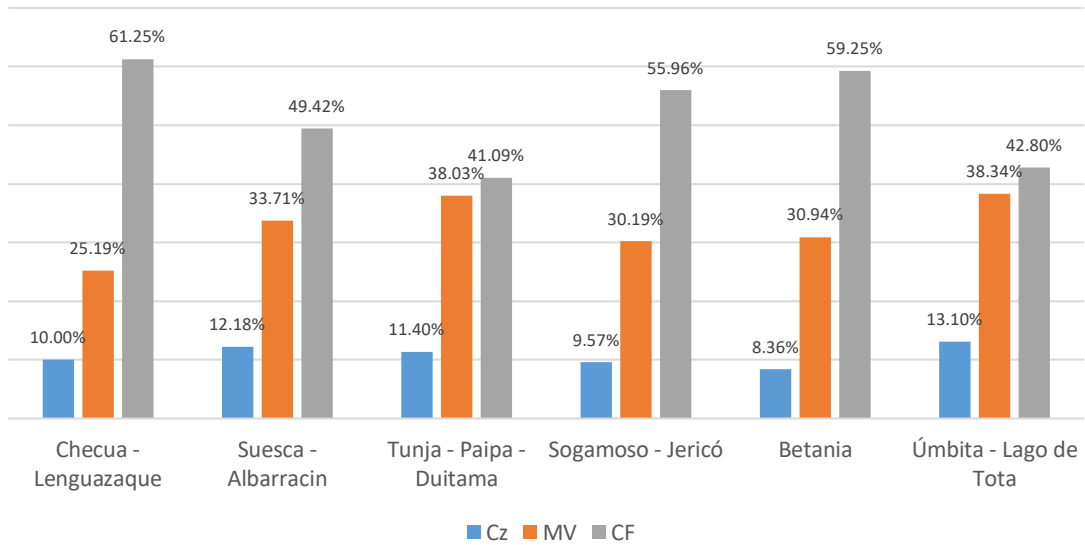


Figura 24. Calidad del carbón en las zonas carboníferas de Boyacá. Fuente: [22]

Poder calorífico

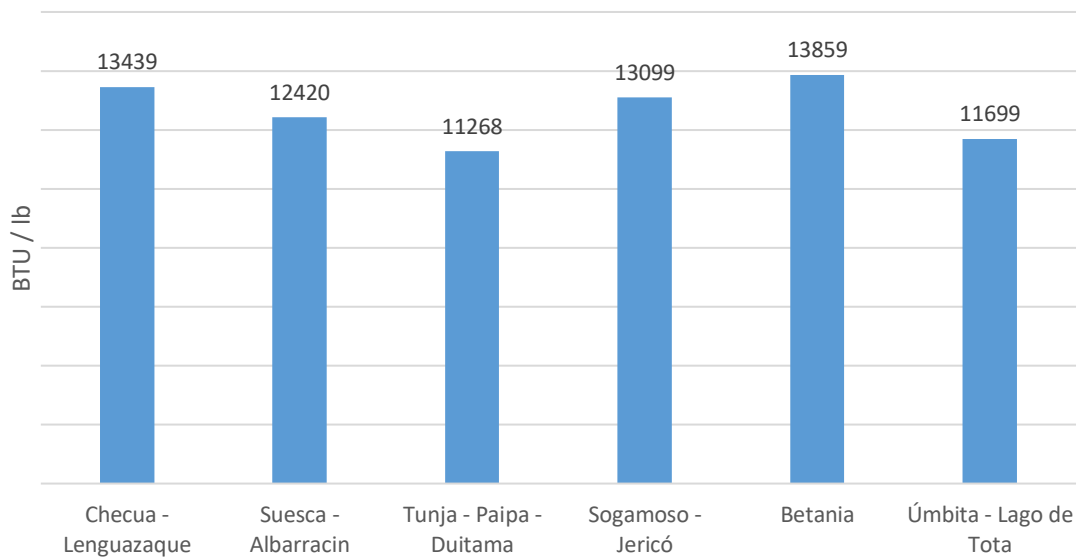


Figura 25. Poder calorífico del carbón en las principales zonas carboníferas de Boyacá. Fuente: [22]

4.5.1.3. Producción de carbón

Como se vio en un capítulo anterior, Boyacá junto con el departamento de Cundinamarca, cuentan con unas importantes cifras de producción de carbón, lo que permite un progreso económico en la región, con la creación de nuevas oportunidades de empleo, aporte de regalías y el crecimiento de la economía local [23].

Dadas las reservas presentes en el departamento, se presentan casos de minería ilegal que además de no generar aportes a la región, presentan fuertes impactos al ambiente, así como riesgos para quienes laboran bajo esta modalidad. Esto ha

provocado que las autoridades tengan bajo la mira este tipo de proyectos, generando el cierre de minas que no cumplen con la normatividad ambiental.

En la Figura 26 se aprecian los municipios del departamento, con su respectivo porcentaje de participación, así como sus cifras de producción. Como se aprecia allí los municipios con las mayores cifras de producción son: Samacá, Socha, Socotá, Ráquira y Tasco.

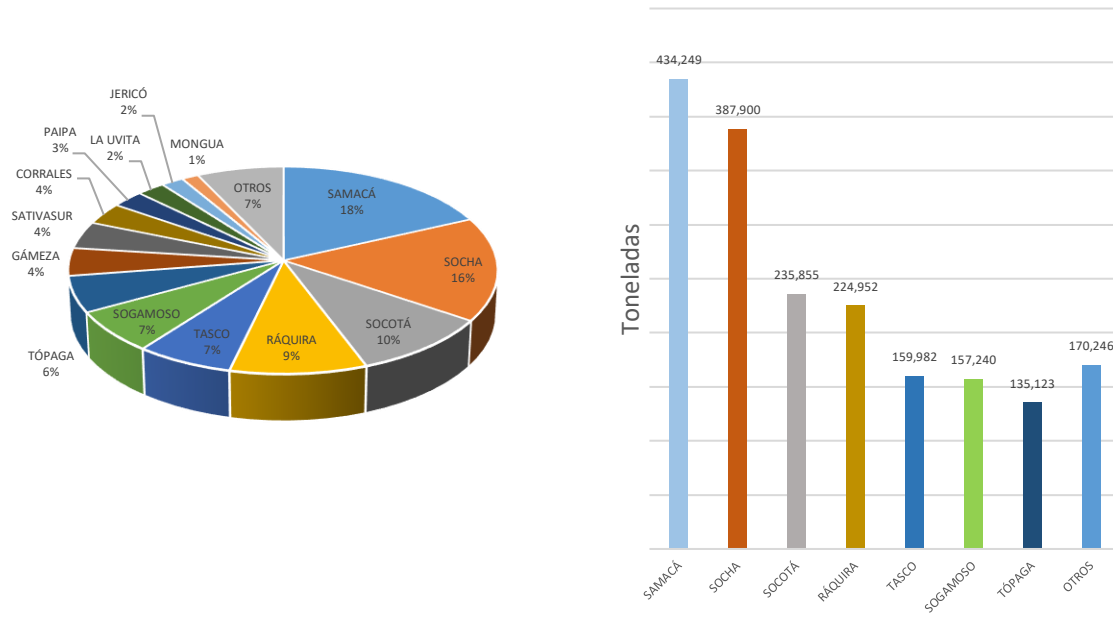


Figura 26. Producción de carbón en los municipios de Boyacá con mayores cifras, en Toneladas - 2017. Fuente: [15]

4.5.2. Departamento de Cundinamarca

4.5.2.1. Minería de carbón

La minería de carbón que se describe es la asociada al distrito minero de Zipaquirá, que contempla los municipios de Cogua, Cucunubá, Guachetá, Lenguaque, Sutatausa, Tausa y Zipaquirá [20].

4.5.2.2. Calidad del carbón

Esta área se encuentra ubicada en el centro del país. La formación carbonífera en la región va desde el municipio de Zipaquirá hasta los límites con el departamento de Boyacá. El carbón es del tipo bituminoso.

La minería de esta región, al igual que la de Boyacá, está pasando de ser poco tecnificada y de subsistencia a una minería más técnica y sostenible.

Infraestructura

- El acceso desde las vías principales a las minas, se realiza a través de caminos con una infraestructura deficiente, situación que se traduce en altos costos de transporte.

Transporte a superficie

- El transporte del mineral a superficie se realiza en vagones, empujados manualmente o mediante malacates; en algunas concesiones se utilizan bandas transportadoras.

Transporte

- El carbón extraído de los municipios de Cogua, Cucunubá y Zipaquirá se distribuye a los centros de acopio de Bogotá para la comercialización a nivel nacional.
- El transporte de carbón coquizable hacia el puerto de Buenaventura se hace a través de tracto camiones de cinco y seis ejes con capacidades de cargue de 35 toneladas netas.
- El mineral también se puede exportar por los puertos de Santa Marta, Barranquilla y Cartagena a través de transporte terrestre.

Características relevantes

- La producción está condicionada por los requerimientos de un mercado inestable.

Figura 27. Aspectos de la minería de carbón en el departamento de Cundinamarca. Fuente: [21].

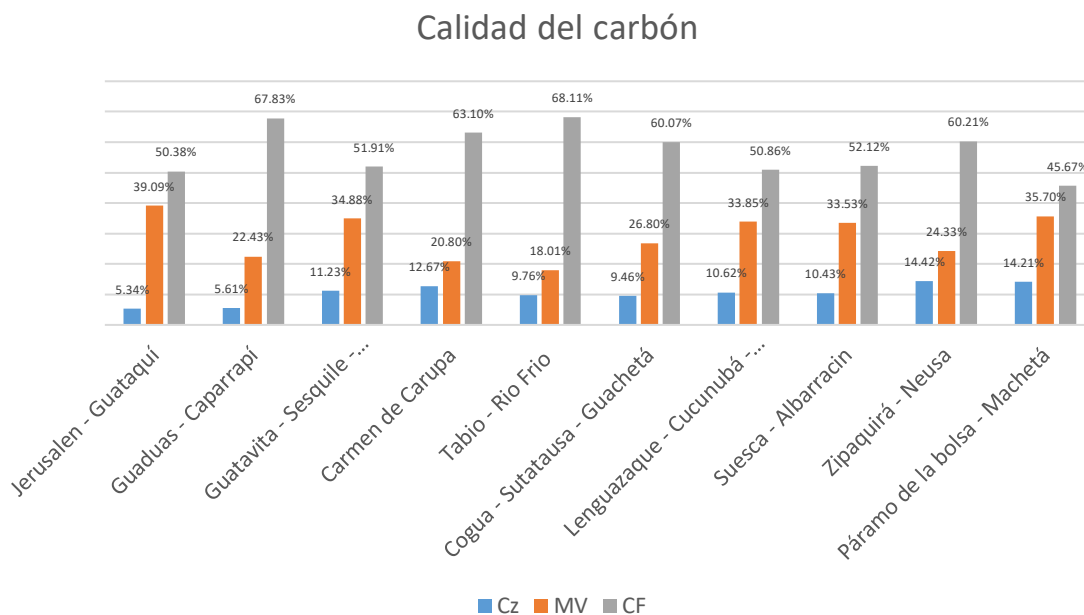


Figura 28. Calidad del carbón en las zonas carboníferas del Cundinamarca. Fuente: [22]

Como se aprecia en Figura 28, el carbón del departamento de Cundinamarca, cuenta con cantidades similares de Cenizas, Materias Volátiles y Carbón Fijado. Sin embargo, los carbones que presentan un menor contenido contaminante son los de las áreas de Jerusalén – Guataquí y Guaduas – Caparrapí, dado su bajo porcentaje de Cenizas. Así mismo son carbones con alto poder calorífico.

El carbón de la Zona del Carmen de Carupa, presentan el menor contenido de Materias Volátiles lo que permite establecer que es apto para el proceso de coquización.

Por otra parte, el carbón de la zona de Tabio – Rio Frio presenta un alto contenido de Carbón Fijo siendo este un carbón de alto aprovechamiento, generando una menor cantidad de contaminantes y presentando un alto poder calorífico; esto se puede apreciar en la Figura 29. De esta manera es posible concluir que los carbones con un alto poder calorífico, presentan una alta calidad.

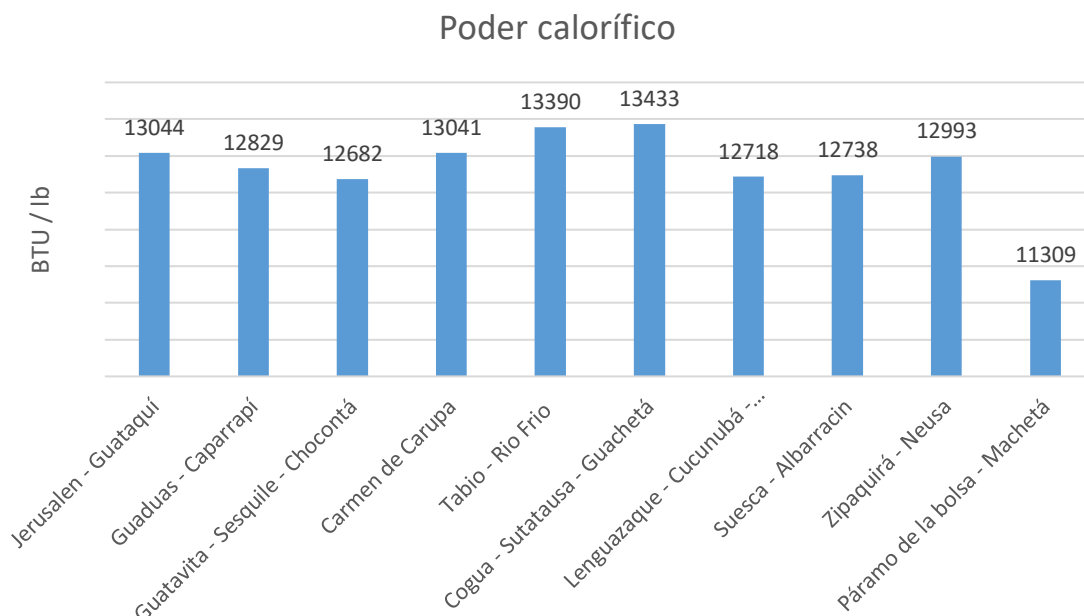


Figura 29. Poder calorífico del carbón en las Zonas carboníferas de Cundinamarca. Fuente: [22]

4.5.2.3. Producción de carbón

Como se vió en un apartado anterior, la minería en el departamento de Cundinamarca presenta mayores cifras de producción en comparación con el departamento de Boyacá. A esto se le debe sumar que la cantidad de municipios productores de carbón es menor que los que posee actualmente el departamento de Boyacá.

En Cundinamarca, al igual que en el departamento de Boyacá, se lleva a cabo minería de forma ilegal lo que claramente conlleva a que se presenten riesgos hacia la integridad de quienes allí laboran y generando graves daños ambientales.

Como se aprecia en la Figura 30, los municipios con las mayores cifras de producción son: Cucunubá, Guachetá, Lenguaque y Sutatausa. El carbón producido en el departamento, presenta propiedades caloríficas interesantes, que lo hacen apropiado para la generación de energía mediante calderas ultra – supercríticas.

4.6. Plantas térmicas a carbón en la Región Central

Las plantas térmicas de generación a carbón, a nivel nacional, se encuentran en su mayoría, cerca de la zona donde se encuentran importantes reservas de carbón.

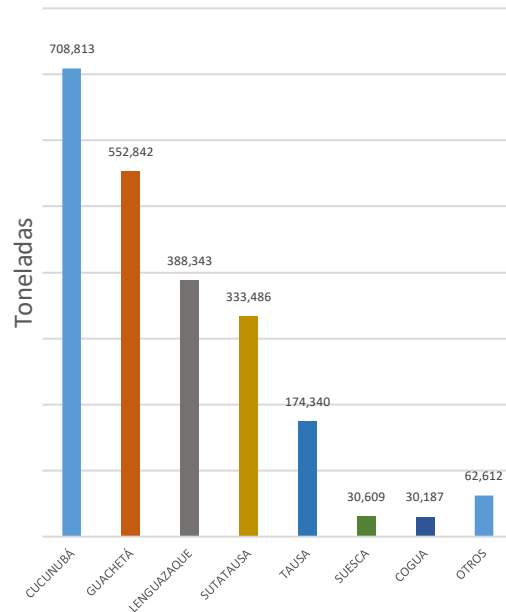
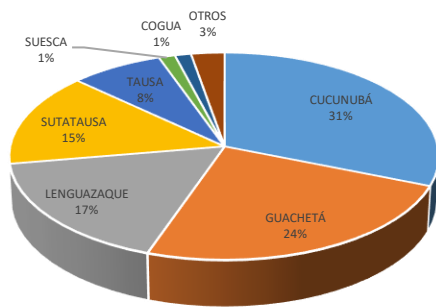


Figura 30. Producción de carbón en los municipios de Cundinamarca con mayores cifras, en Toneladas - 2017. Fuente: [15]

En la Región Central, las centrales de generación se encuentran en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca. Las dos principales centrales de la región son: Termopaipa y Termozipa. Cada una de estas centrales está compuesta por las unidades de generación que se muestran en Tabla 4.

En la Tabla 4, se aprecian algunas características de las unidades de generación de Termopaipa y Termozipa. Entre otras:

- Capacidad efectiva: potencia neta que la unidad de generación esta en capacidad de suministrar al sistema.
- Eficiencia: valor porcentual que da a conocer la capacidad de aprovechamiento del recurso energético. A mayor eficiencia, menor consumo y, consecuentemente, menores niveles de emisión.

Central	Capacidad efectiva [Mw]	Eficiencia	Consumo de carbón – 2015 [Ton]	Año – entrada en operación
PAIPA 1	31	22.8 %	86.388	1963
PAIPA 2	72	31.6 %	260.796	1974
PAIPA 3	70	27.8 %	220.562	1978
PAIPA 4	154	38.4 %	466.612	1997
ZIPAEMG 2	34	23.3 %	69.709	1964
ZIPAEMG 3	63	26.6 %	96.444	1972
ZIPAEMG 4	64	25.0 %	118.078	1979
ZIPAEMG 5	63	27.7 %	120.617	1981

Tabla 4. Principales características de las centrales térmicas de la Región Central. Fuente: [24]

En la Tabla 4, así como en la Figura 31, se evidencia que las unidades de generación, presentan unas calderas con unas bajas eficiencias, presentándose un alto consumo de carbón, así como una alta concentración de emisiones contaminantes.

CENTRALES TÉRMICAS

Región central

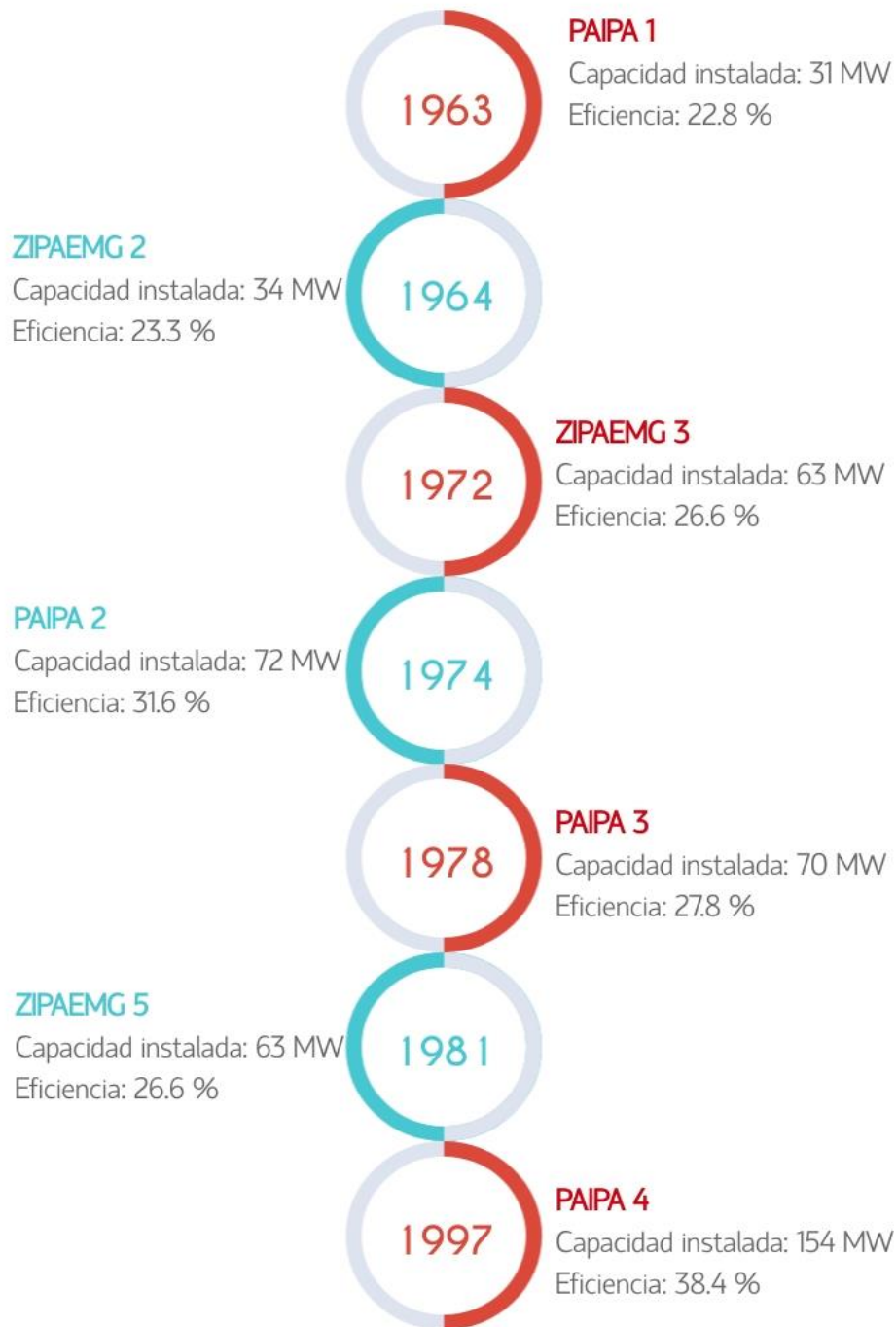


Figura 31. Línea de tiempo de las unidades de generación de Termopaipa y Termozipa.

Capacidad efectiva [MW]

Consumo de carbón [Ton] - 2015

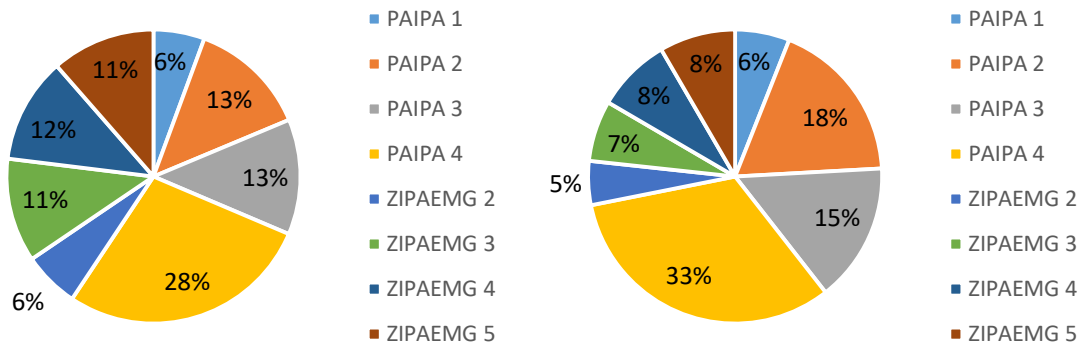


Figura 32. Capacidad efectiva vs consumo de carbón en las unidades de generación de Termopaipa y Termozipa. Fuente: [24].

En la Figura 32 es posible deducir que se presenta una relativa proporcionalidad, en las dos variables expuestas, de modo que a mayor capacidad instalada, mayor es el consumo del carbón de la unidad de generación. En ello se debe tener en cuenta que el despacho de las diferentes unidades de generación no es continuo.

4.6.1. Emisiones

En las plantas de generación térmica, se presentan emisiones contaminantes de:

- Dióxido de azufre (SO₂).
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Monóxido de carbono (CO)
- Dióxido de carbono (CO₂)
- Material Particulado (MP)

Las emisiones dependen del tipo y el tamaño de la instalación, las características del combustible y la tecnología del sistema de combustión.

En la Tabla 5 se muestran los límites admisibles de las emisiones contaminantes al aire para las centrales térmicas existentes y nuevas, de capacidad superior a 20 MW, con combustibles sólidos, según resolución 1377 de 2015 del MADS [25].

Tipo de planta	Estándares de admisión admisibles (mg/m ³)		
	MP	SO ₂	NO _x
Existente	100	2800	760
Nueva	50	2000	600

Tabla 5. Límites de emisiones para plantas térmicas con capacidad superior a 20 MW. Fuente: [24]

Según [26], en un periodo de 15 años, se ahorrarían 34.151 TJ; esto, con objetivo de minimizar los costos de operación del sistema teniendo en cuenta casos extremos como el fenómeno de El Niño, donde la generación térmica es notablemente importante.

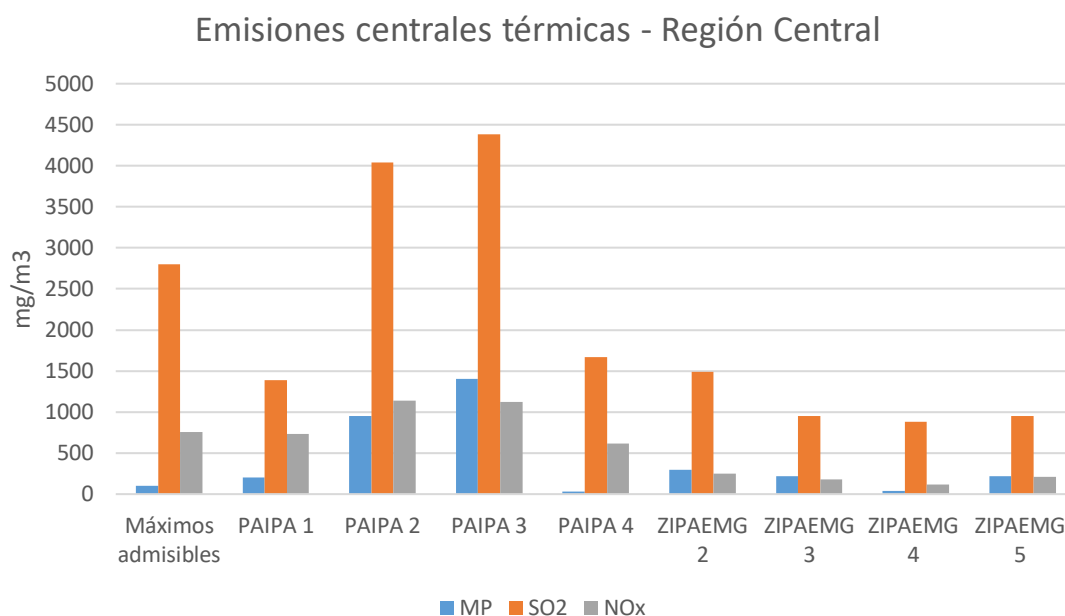


Figura 33. Emisiones de las centrales Termopaipa y Termozipa. Fuente: [24]

Para la implementación de las medidas propuestas, se debe realizar un análisis técnico-económico detallado, teniendo en cuenta los efectos de cara a los aspectos regulatorios [26].

Como se puede observar en la Figura 33 PAIPA 4 y ZIPA 4 son las únicas unidades de generación que cumplen con los límites admisibles de emisiones. Por el contrario, PAIPA 2 y PAIPA 3 presentan las cifras más altas de emisiones al ambiente con niveles que superan los máximos admisibles.

4.6.2. Eficiencia energética

El aumento de la eficiencia de transformación de las centrales y la disminución en las emisiones de CO₂ mediante la modernización de equipos presenta la posibilidad de optimizar, a largo plazo, el consumo de combustibles fósiles con el uso de ciclos combinados en turbinas de gas y de vapor, y la utilización de calderas con ciclos de vapor supercríticos y ultra-supercríticos [26] [27] [28].

El mejoramiento en la transformación de la generación de energía eléctrica térmica, se basa en actualización de tecnología en las plantas existentes y, para el caso de las nuevas, el ingreso de plantas con eficiencias superiores a las tecnologías convencionales [26] [27] [28].

A nivel nacional, algunos proyectos han emprendido procesos de renovación tecnológica o modernización de las calderas, que consiste especialmente en la instalación de sistemas de control e instrumentación, y montaje de precipitadores electrostáticos. Igualmente, existen dos nuevas plantas de 329 MW que ingresaron al sistema y utilizan tecnologías de lecho fluidizado. En promedio las plantas térmicas a carbón llevan funcionando alrededor de 40 años [26] [27] [28].

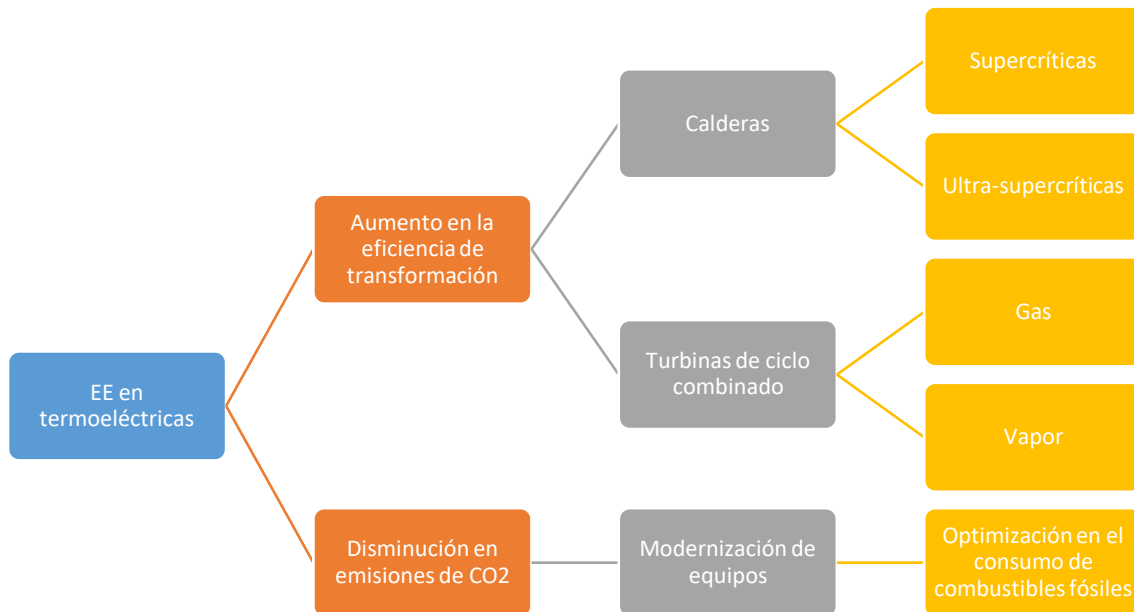


Figura 34. Parámetros para la eficiencia energética en plantas de generación térmicas. Fuente: [26]

La implementación de buenas prácticas y de Sistemas de Gestión Energética (según lo contenido en la familia de normas ISO 50.000), potencializa una mayor eficiencia energética en nuevos equipos [26] [27].

5. Impacto socio ambiental

En cualquier proyecto minero, se deben contemplar los impactos al ambiente y a la población, llevando a cabo acciones que se antepongan a cualquier inconveniente [29] [30].

Es deber de las autoridades ambientales, vigilar toda actividad alrededor de la minería, garantizando la protección y el cuidado de la biodiversidad, la fauna y la flora. En la Figura 37, se dan a conocer las principales afectaciones de tipo ambiental y social recopiladas por medio de expedientes presentados ante la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y la Corporación Autónoma de Boyacá (CORPOBOYACÁ) evaluando los casos más recurrentes y el mayor número de quejas presentadas.

5.1. Problemas e inconvenientes

No es un secreto que la minería de carbón genera una serie de problemas sociales y ambientales que impactan en la calidad de vida de la población. En todo proyecto minero, se debe evaluar cualquier situación generada a partir de la actividad extractiva, garantizando la sostenibilidad y continuidad del mismo [29]. Para ello, en la Figura 35, se mencionan los aspectos que generan problemas en la actividad de extracción de carbón.

Generalmente los problemas ocasionados por la minería de carbón también pueden clasificarse cómo:

- **Sociales**

- Deficiencias en la gestión de gobierno regional

- Bajos niveles de desarrollo (social y cultural)
- **De ordenamiento**
 - Inexistencia de un proyecto minero referente
 - Falta de un plan de ordenamiento enfocado a la ejecución de minería en la región
- **Ambiental**
 - Deficiencia en los planes de mitigación de emisiones contaminantes
 - Ineficacia de los instrumentos de control ambiental
 - Falta de control y seguimiento de los proyectos de extracción

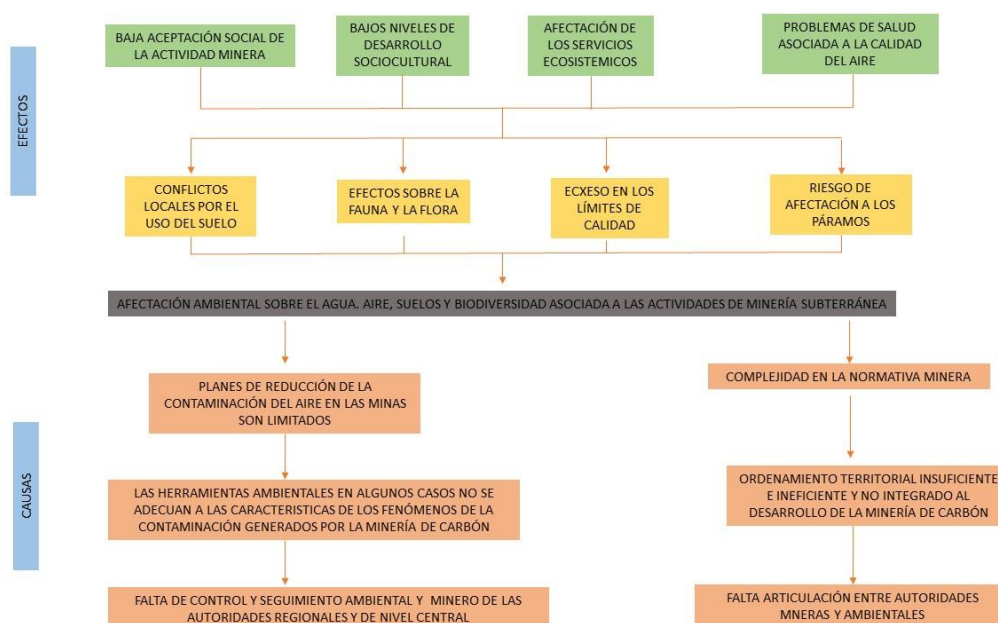


Figura 35. Esquema causa – efecto de la minería de carbón subterránea. Fuente: [31]

5.2. Objetivos y soluciones

Una vez se evalúa los problemas generados por la minería de carbón, se planifican las acciones a ejecutar. En la Figura 36, se dan a conocer los objetivos que debe trazarse cualquier proyecto de extracción de carbón, estableciendo las medidas para el cumplimiento de metas.

5.3. Ecosistema

Según la Resolución 1669 de 2017 del MADS, los servicios ecosistémicos son los beneficios directos e indirectos que los seres humanos reciben de los ecosistemas tales como: bosques naturales, páramos, humedales, playas marinas o arrecifes de coral [32].

Para relacionar el tipo de impacto ambiental asociado a cada tipo de servicio ecosistémico, se revisaron los impactos ambientales más recurrentes en la actividad minera de carbón. De esta manera fue posible la construcción de la Tabla 6 que

relaciona el tipo de servicio ecosistémico, el servicio que provee y el impacto ambiental asociado a cada etapa minera [32].

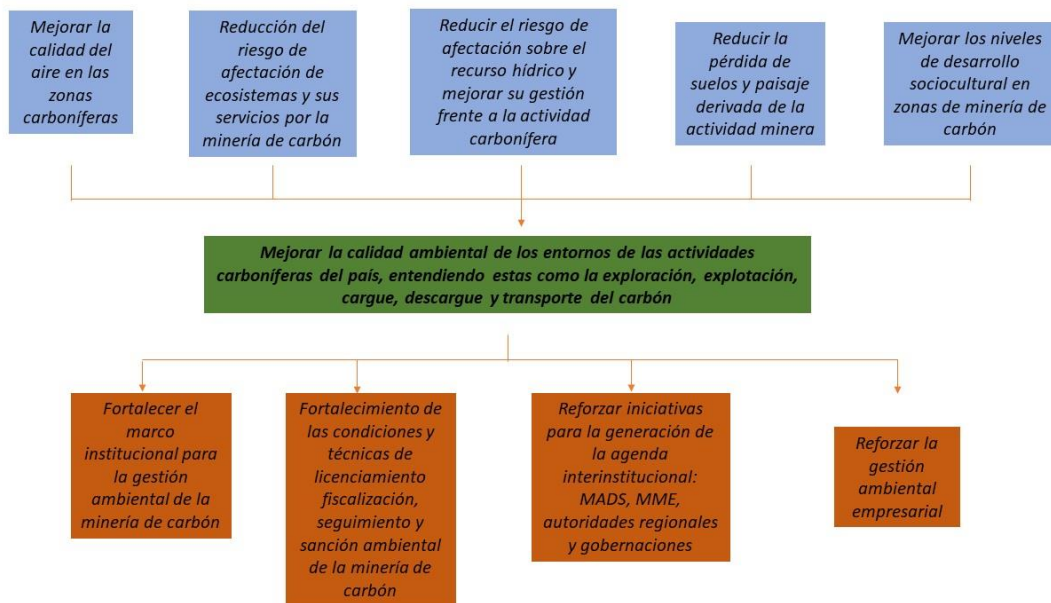


Figura 36. Esquema de objetivos y soluciones para mitigar el impacto generado por la minería de carbón. Fuente: [33]

Agua	<ul style="list-style-type: none"> Deterioro de la calidad de agua por cambios fisicoquímicos Sedimentación de cuerpos de agua Disminución de caudales
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> Pérdida de suelo Compactación y pérdidas del suelo Desestabilización de pendientes
Paisaje	<ul style="list-style-type: none"> Afectación sobre la riqueza del paisaje
Flora	<ul style="list-style-type: none"> Impactos ambientales en biodiversidad Alteración de habitats
Fauna	<ul style="list-style-type: none"> Disminución de fauna
Socioeconómico	<ul style="list-style-type: none"> Cambios del uso del suelo agropecuario y forestal a minero Generación de empleo Incremento de uso de bienes y servicios Afectación a la salud Deterioro de infraestructura pública y privada

Figura 37. Implicaciones de la minería a mediana escala. Fuente: [32]

Tipo de servicio ecosistémico	Servicio ecosistémico identificado	Impacto ambiental asociado	
		Construcción y montaje	Explotación
Cultural	<ul style="list-style-type: none"> Recreación y turismo Espirituales y religiosos Inspiración artística e intelectual 	<ul style="list-style-type: none"> Afectación sobre la riqueza del paisaje Generación de empleo Incremento de uso de bienes y servicios Afectación a la salud 	<ul style="list-style-type: none"> Generación de expectativas con migración de población Generación de empleo Incremento de uso de bienes y servicios Afectación a la salud
Aprovisionamiento	<ul style="list-style-type: none"> Agua Arena y roca Madera Fibras y resinas Biomasa Pesca y acuicultura Carnes y pieles Plantas medicinales Ingredientes naturales Ganadería Agricultura 	<ul style="list-style-type: none"> Cambios de uso de suelo agropecuario y forestal a minero 	<ul style="list-style-type: none"> Deterioro de la calidad del agua por cambios fisicoquímicos Sedimentación de cuerpos de agua Afectación de la dinámica de escorrentía, de cuerpos de agua superficial y subterránea Disminución de caudales Alteración del nivel freático
Regulación	<ul style="list-style-type: none"> Control de erosión Control de enfermedades humanas Ecosistemas de purificación de agua 	<ul style="list-style-type: none"> Pérdida de suelo 	<ul style="list-style-type: none"> Pérdida del suelo Compactación y decaimiento de suelos Modificación del relieve Desestabilización de pendientes
Soporte	<ul style="list-style-type: none"> Producción primaria Formación del suelo Provisión del hábitat 	<ul style="list-style-type: none"> Afectación de interacciones ecológicas Cambios de uso de suelo agropecuario y forestal a minero 	<ul style="list-style-type: none"> Impactos ambientales en biodiversidad Alteración de hábitats Disminución de fauna Afectación de interacción ecológicas

Tabla 6. Impactos de la pequeña y mediana minería de carbón. Fuente: [32]

5.3.1. Beneficios socioeconómicos

La actividad minera en Colombia presenta afectaciones en pro y/o en contra de la comunidad. En la Tabla 7 se presentan diferentes clases de impacto y de beneficio a nivel nacional y regional de la minería de carbón. Algunos de ellos se presentan por las razones que se relacionan a continuación [32] [34] [35]:

- Disputa por el uso del recurso natural.
- No se cuenta con plan de ordenamiento territorial.
- Impactos negativos de la minería.
- Falta de comunicación entre los actores involucrados.
- Diferencias en la comunidad de tipo cultural y social.
- Deficiencia en los entes de control minero y ambiental.

Con las consideraciones anteriores, es prescindible llevar a cabo un estudio detallado que permita establecer las consecuencias e implicaciones de un proyecto minero, generando confianza en la puesta en marcha y anteponiéndose ante cualquier inconveniente que pueda presentarse.

Impacto	Descripción
Satisfacción de las necesidades vitales del ser humano	Mejoramiento en la calidad de vida de las personas en función de: transporte, tecnología, construcción, medicina, ciencia e innovación entre otros.
Crecimiento socioeconómico local, regional y nacional	Generación de recursos propios originados de los recaudos tributarios que deben realizar todas las actividades mineras. Estos recursos deben invertirse en obras sociales y de infraestructura; esto es: colegios, hospitales, universidades, centros deportivos, mejora y construcción de vías, accesibilidad a servicios públicos básicos.
Aporte al PIB colombiano	Actualmente el sector minero tiene una participación promedio del 2,2% del PIB nacional por consiguiente, la minería de carbón contribuye al aumento de del mismo.
Alternativa de aumento de ingresos del Estado	La ejecución de proyectos de minería de carbón genera nuevas regalías y contraprestaciones significativas para mejorar el presupuesto del Estado.
Atracción de inversión extranjera	Los casos exitosos de extracción de carbón, efectuados bajo marcos legales y políticos adecuados, atraen inversionistas extranjeros, aumentando el flujo de inversión, así como los ingresos al Estado.
Inversiones sociales	La actividad minera en Colombia tiene por compromiso formular y ejecutar programas de inversión social, con el fin de fomentar la minería sostenible en relación con el entorno comunitario, natural, cultural y económico de las comunidades del área de influencia.
Generación de empleo (directo e indirecto)	La actividad minera colombiana demanda mano de obra calificada y no calificada, adicionalmente, el sector minero potencia fuertemente el empleo indirecto a través de los encadenamientos productivos con otros sectores
Procesos de formalización de asociaciones mineras	En municipios donde actualmente la extracción de minerales se desarrolla por subsistencia, artesanalmente o ilícitamente, se promueve la oficialización de actores involucrados, mediante cesiones parciales de áreas, contratos de operación o asociación, y subcontratos de formalización
Desarrollo de infraestructura vial	En algunos de los proyectos de explotación de minería de carbón, se debe diseñar su propia infraestructura vial para facilitar la construcción, montaje y explotación de la actividad. Igualmente tienen que generar proyectos de compensación en las áreas utilizadas una vez finalicen su actividad, forjando legados de infraestructura y/o ambientes artificiales bien adecuados (cuerpos de aguas, parques temáticos, entre otros) para que las poblaciones los puedan aprovechar en su propio beneficio.
Manejo adecuado de las regalías	Las regalías constituyen una de las contribuciones más importantes de las minerías a las finanzas públicas, especialmente en la medida en que representan un beneficio económico fundamental para algunos departamentos y municipios, haciéndose la inversión en programas sociales necesarios en el territorio mejorando las condiciones de vida.
Desarrollo sostenible, que equilibre el crecimiento económico	Fomento y transferencias de tecnologías dirigidas a los sectores consumidores de carbón, sobre los procesos de conservación, combustión y beneficio. Promover la creación de formas asociativas de trabajo y empresas familiares, que produzcan manufacturas con el carbón y sus derivados, de bajo componente tecnológico como solución tecnológica para los sectores deprimidos. Programas tendientes a la identificación de actividades económicas diferentes de la minería, para los ex trabajadores del sector
Encadenamiento productivo	La industria minera ratifica la importancia como actividad productiva, por cuanto deriva el sustento diario de muchas familias en el territorio nacional, promoviendo productividad e ingreso económico. En la economía colombiana existe una clara evidencia de encadenamientos productivos hacia adelante en subsectores como carbón, por ejemplo, el carbón es insumo en la producción de varios bienes y servicios. Los principales consumidores de carbón en Colombia son las siderúrgicas, cementeras, las industrias de vidrio, papel, textiles y por supuesto las termoeléctricas.
Inversión regional	Dado que los marcos regulatorios en los sectores de minería han sido relativamente estables y han garantizado reglas de juego favorables para las nuevas inversiones que, con la dinámica de los precios favorable, han incrementado los niveles de rentabilidad, permiten una inversión sostenible de los proyectos.

Tabla 7. Impactos socioeconómicos positivos en las etapas de construcción montaje y explotación.
Fuente:[32]

5.4. Entidades gubernamentales, ambientales y privadas

Para la ejecución de cualquier proyecto minero en Colombia, se deben tener en cuenta las entidades que se encargan de regular el sector, de manera que se logre gestionar de forma acertada, las licencias y permisos respectivos.

Especialmente en el centro del país, se han encontrado proyectos mineros que no cumplen con la normatividad minera y ambiental, teniendo como causal el cierre de la mina donde se ejecuta el proceso de extracción.

Las entidades alrededor de la actividad económica del carbón se clasifican en los apartados a continuación:

5.4.1. Organismos de control

Entidades del estado que aplican la normatividad vigente para llevar a cabo de manera satisfactoria todas las actividades económicas generadas alrededor de la minería de carbón [6]. Dichas entidades, así como su respectiva función se pueden observar en la Figura 38.

5.4.2. Entidades gubernamentales

Entidades que brindan apoyo en los procesos de: exploración, explotación, exportación y transporte del carbón. Dichas entidades se aprecian en la Figura 39.

5.4.3. Entidades privadas

Funcionan como agentes reguladores, promoviendo el firme desarrollo de toda actividad económica derivada de la minería de carbón. Estas entidades, así como su descripción se aprecian en la Figura 40.

5.4.4. Organismos internacionales de regulación

Entidades privadas que establecen vínculos con gobiernos, gremios y sectores económicos para la regulación, control y promoción del carbón en el mundo. Dichas entidades se pueden apreciar en la Figura 41.

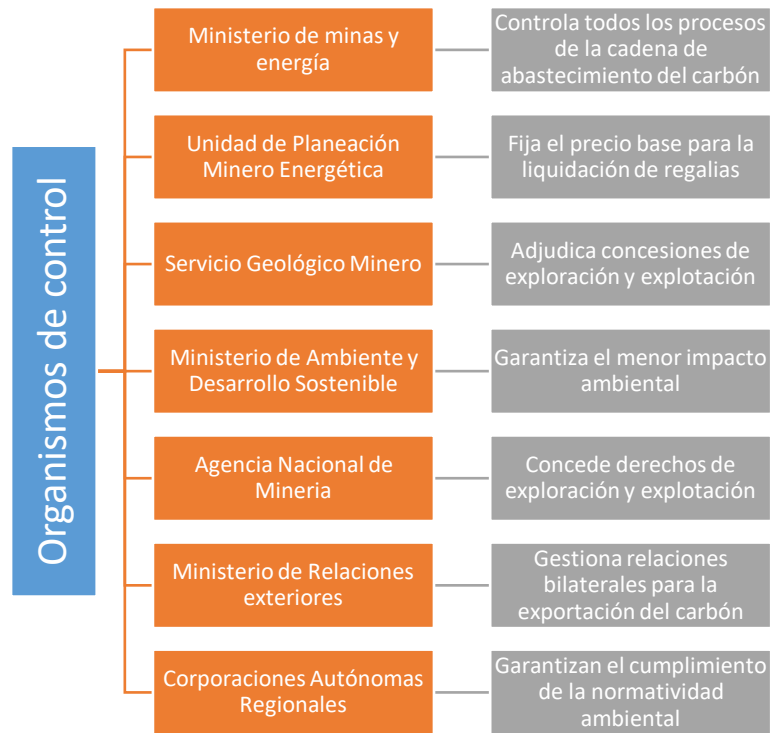


Figura 38. Organismos de control en la minería de carbón. Fuente: [6]

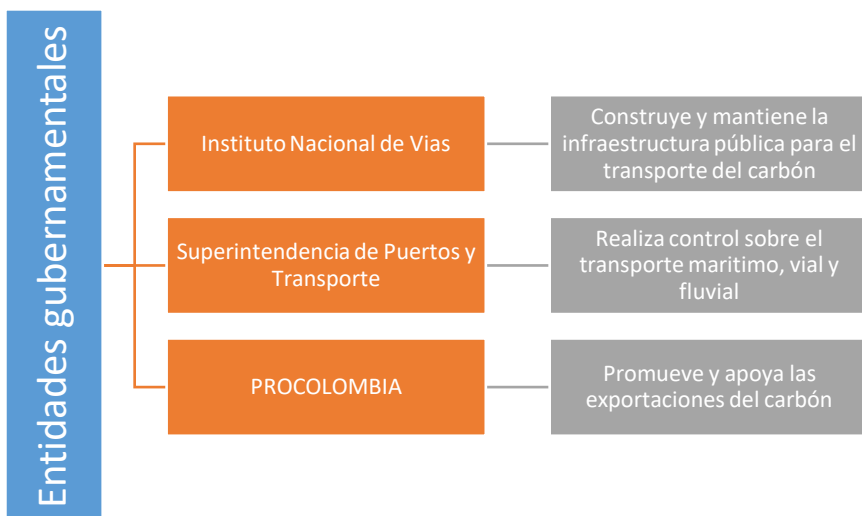


Figura 39. Entidades gubernamentales alrededor de la cadena de abastecimiento del carbón. Fuente: [6]

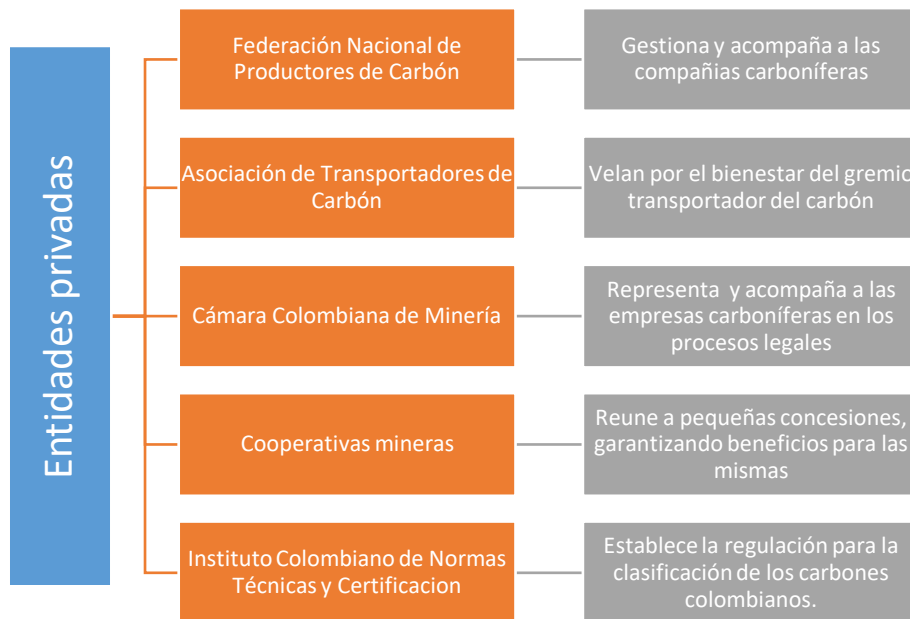


Figura 40. Entidades privadas alrededor de la actividad de la minería de carbón. Fuente: [6]

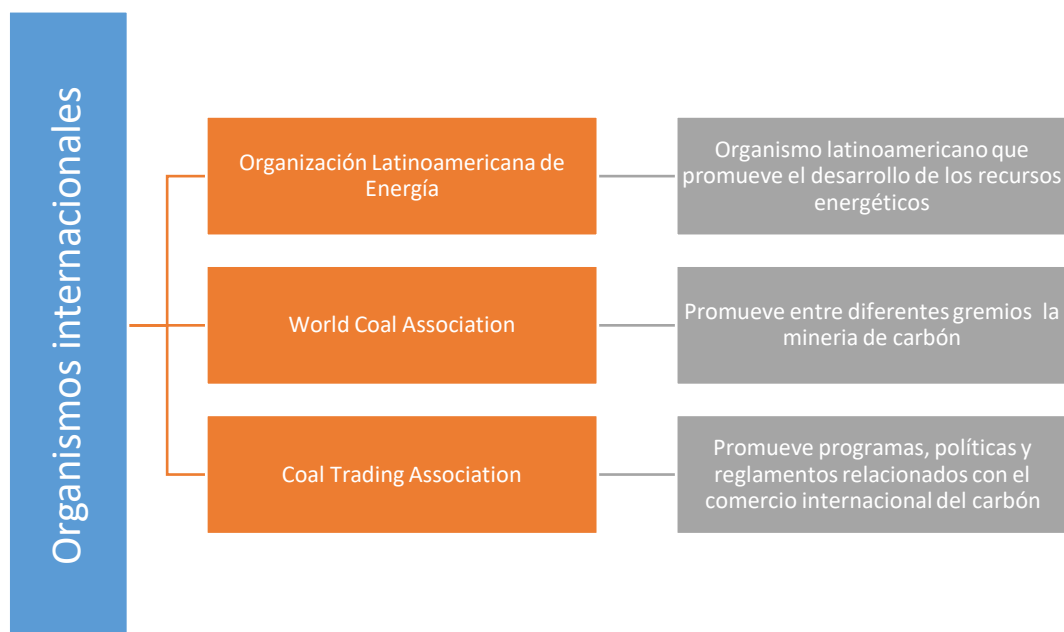


Figura 41. Organismos internacionales presentes en la cadena de abastecimiento del carbón. Fuente: [6]

6. Conclusiones

- Gran parte de las minas de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca operan bajo la ilegalidad sin tener en cuenta los riesgos a los que están expuestas las personas. Así mismo se presentan serias afectaciones al ambiente dado que no se cuenta con los protocolos mínimos para la ejecución de la labor. Para evitar cualquier incidente es deber de las autoridades vigilar las minas que operan en la región.
- Se ha identificado irregularidades o retrasos en los trámites para legalización de proyectos mineros. Para impulsar la productividad se debe apoyar y

asesorar al empresario, generando las garantías necesarias que faciliten la legalización del proyecto.

- La minería presenta una serie de impactos al ambiente que deben ser considerados antes de iniciar el proceso de exploración, de manera que se tomen las medidas necesarias, para eliminar o mitigar cualquier clase de afectación.
- La actividad económica de la minería de carbón, genera unas regalías considerables, que aportan al desarrollo del país y de la Región. La eliminación de esta actividad implicaría la reducción de aportes a rubros de bien común como lo son: salud, deporte, vivienda, entre otros.
- Colombia presenta la mayor cantidad de reservas en Latinoamérica. Si bien, se deben buscar medidas para la reducción de gases de efecto invernadero, pueden aplicarse medidas para el aprovechamiento del carbón como energético sin afectar considerablemente el ambiente.
- Las calderas supercríticas a carbón, usadas para la generación de energía, pueden presentar altas eficiencias, con un consumo reducido del mineral y con unas emisiones mínimas cumpliendo con la regulación ambiental. El cambio de tecnología de calderas (subcríticas a supercríticas) en las centrales térmicas Termopaipa y Termozipa podrían impulsar el uso del carbón para la generación de energía.
- El carbón que se encuentra en los departamentos objeto de estudio, en su mayoría es de tipo metalúrgico, con propiedades que lo hacen altamente coquizable. De esta manera, la producción de coque se constituye como una actividad económica importante en la región.
- Impulsar la sustitución de calderas en las centrales térmicas existentes o la implementación de nuevos proyectos de generación, permitirá la solidificación del Sistema Eléctrico Nacional y motivaría la explotación y producción de carbón a nivel nacional.

7. Recomendaciones

- Investigar y analizar impactos ambientales generados por la minería subterránea de carbón, estableciendo una matriz de riesgos ambientales que permitan mitigar o eliminar cualquier clase de impacto.
- Determinar los beneficios y prejuicios sociales de la minería de carbón a pequeña escala, mostrando un panorama real del grado de conveniencia de la minería de carbón en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca.
- Establecer las medidas para el control de la minería ilegal en la región, asociando la regulación minera y ambiental y estableciendo el grado de

cumplimiento del código minero en función de los requerimientos para el control de la minería de la región.

- Determinar si se presenta un trabajo coordinado entre la autoridades mineras y ambientales de manera que se vigile las actividades asociadas a la explotación de carbón en la región
- Establecer los factores que generan retrasos en los trámites realizados por la autoridad minera y ambiental.
- Determinar el estado actual de la infraestructura vial de la región para la comercialización del carbón.
- Establecer el grado tecnológico de las minas ubicadas en la Región Central así como de las industrias de producción de coque.
- Indagar si se están llevando a cabo programas de capacitación para la exploración y explotación de carbón.
- A partir de los hechos más relevantes en la minería de carbón, establecer las lecciones aprendidas en cuanto a seguridad minera, estableciendo parámetros para la ejecución de planes, que permitan garantizar el cuidado de la integridad de quienes llevan a cabo diferentes labores en la exploración de carbón.
- Teniendo en cuenta las condiciones en las que se lleva a cabo la minería en la región, determinar aspectos de seguridad para la protección de los mineros, así como para el sistema de gestión aplicable.
- Indagar sobre las causas de tipo social, ambiental y económico que motivarían un descenso en la explotación y producción de carbón.
- Factores económicos a nivel nacional e internacional, que influyen en el precio del carbón.
- A partir de las condiciones actuales de la región, determinar qué tipo de proyectos alrededor de la cadena del carbón (exploración, transporte y uso) impulsarían la producción y exportación de carbón en el interior del país.
- Requerimientos para una correcta coordinación de las autoridades mineras y ambientales, asegurando eficiencia en los procesos de legalidad minera.

8. Bibliografía

- [1] C. R. U. C. Contrato, "Carbón térmico," 2018.
- [2] V. Cortes, "Carbón." .
- [3] M. D'alessandro, "Carbón," *Rocas y minerales*. [Online]. Available: <https://www.rocasyminerales.net/carbon/>.
- [4] "Carbón: usos, composición y propiedades," *Geología online*, 2017. [Online]. Available: <https://geologiaonline.com/carbon-usos-composicion-propiedades/>.
- [5] T. Raliuga, "Carbón." .
- [6] P. G. Rodriguez Narvaez and J. L. Dimate Solano, "Caracterización de la cadena de abastecimiento de carbón en Colombia," 2012.
- [7] "Consumo de carbón - clasificaciones," *The Global Economy*, 2017. [Online]. Available: https://es.theglobaleconomy.com/rankings/coal_consumption/.
- [8] Unidad de Planeación Minero Energética, *Carbón metalúrgico*. 2018.
- [9] "El carbón en la sociedad colombiana," *encolombia.com*, 2019. [Online]. Available: <https://encolombia.com/economia/economiacolombiana/carbon/>.
- [10] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Marco institucional de la actividad minera carbonifera," in *La política ambiental para la cadena productiva del carbón*, 2017, pp. 13–14.
- [11] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Marco normativo y de políticas," in *Política ambiental para la cadena productiva del carbón*, 2017, pp. 14–28.
- [12] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Marco legal del recurso del aire," in *Política ambiental para la cadena productiva del carbón*, 2017, pp. 16–20.
- [13] G. Rudas and D. Hawkings, "La minería de carbón a gran escala en Colombia: impactos económicos, sociales, laborales, ambientales y territoriales," *Análisis*, 2014.
- [14] Agencia Nacional de Minería, "Producción de carbón," *Carbón*. [Online]. Available: <http://mineriaencolombia.anm.gov.co/index.php/es/produccion-carbon>.
- [15] Unidad de Planeación Minero Energética, "SIMCO." 2018.
- [16] "Reservas medidas de carbón de Colombia son de 6.000 millones de toneladas: MinMinas," *HSB noticias*, 2017.
- [17] UPME, "Subsector minería," in *Boletín estadístico de minas y energía 2016 - 2018*, 2018.
- [18] P. Y. Oei and R. Mendelevitch, "Perspectivas sobre las exportaciones de carbon Colombiano - en el mercado internacional de carbón térmico hasta 2030," 20165.
- [19] "Plantas termoeléctricas en Colombia," *Concentra - inteligencia en energía*, 2017. [Online]. Available: <https://concentra.co/content/plantas-termoeléctricas-en-colombia>.
- [20] Unidad de Planeación Minero Energética, "Zonas carboníferas de Colombia." [Online]. Available: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/areas/zonas/indice.htm.

- [21] Consorcio Sergeing Sisocoal, "Oferta y demanda de carbón nacional," in *Contrato C-015*, 2016, pp. 54–73.
- [22] Unidad de Planeación Minero Energética, "La cadena de carbón en Colombia," in *La cadena del carbón*, 2012, pp. 35–63.
- [23] "Boyacá redujo su producción de carbón: estas son las cifras de la producción minera en el departamento," *Siete días Boyacá*, 2019.
- [24] Consorcio Sergeing Sisocoal, "Caracterización de las plantas de generación," in *Contrato C-015*, 2016, pp. 13–46.
- [25] C. A. N. Rodriguex, "Gestión del riesgo ambiental: proceso de generación de emisiones contaminantes en la termoeléctrica a base de carbón del municipio de Paipa," 2018.
- [26] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), "Escenario de eficiencia energética de corto y mediano plazo, desde la oferta," *Plan acción Indic. Efic. energética 2017 - 2022*, pp. 118–123, 2017.
- [27] J. Blanco and F. Peña, "Incremento de la Eficiencia en Centrales Termoeléctricas por Aprovechamiento de los Gases de la Combustión," Universidad del país vasco, 2011.
- [28] S. Patel, "Who Has the World's Most Efficient Coal Power Plant Fleet?," *POWER*, 2017.
- [29] Jordy Felipe Villamil Hernandez, "Estudio de impacto ambiental, para la explotación de carbón dentro del área del contrato de concesión gc7-111 en el municipio la Jagua de Ibirico en el departamento de Cesar," Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2014.
- [30] F. Li, X. Liu, D. Zhao, B. Wang, J. Jin, and D. Hu, "Evaluating and modeling ecosystem service loss of coal mining: A case study of Mentougou district of Beijing, China," 2011.
- [31] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Arbol de problemas," in *Política ambiental para la cadena productiva del carbón*, 2017, p. 33.
- [32] Unidad de Planeación Minero Energética, "Proceso para desarrollar la valoración económica," in *Protocolo para la valoración económica de los impactos sociales y ambientales de los proyectos de construcción, montaje y explotación de minería de carbón construida con base en la revisión de experiencias y casos concretos de las zonas de estudio.*, 2017, pp. 20–51.
- [33] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Objetivos," in *Política ambiental para la cadena productiva del carbón*, 2017, pp. 36–38.
- [34] K. J. E. Morales, A. Hernández, and E. M. Pinilla, "La participación de la minería y sus beneficios económicos en Colombia y Perú," Universidad Santo Tomás, 2016.
- [35] Mineral Council of Australia, "Coal's Economic Contribution." [Online]. Available: <https://minerals.org.au/coal-community>.

Entidad	Siglas	Página Web	Naturaleza	Área de influencia	Sector	Descripción	temas
Agencia Nacional de Minería	ANM	https://www.anm.gov.co	Pública	Nacional	Minería	Entidad minera en el territorio nacional que administra los recursos del estado y concede derechos para su explotación y exploración	Caracterización del sector, Carbón, Minería
Asociación Colombiana de Minería	ACM	https://acmineria.com.co/	Privada	Nacional	Minería	Agremiación que representa exploradores, productores y prestadores de bienes y servicios relacionados con el sector minero presentes en el país, dedicados a la generación de una minería responsable y sostenible.	Caracterización del Sector, Minería
CELSIA	CELSIA	https://www.celsia.com/	Privada	Internacional	Gestión de administración	Celsia es la empresa de energía del Grupo Argos, la cual incluye el uso de energías renovables y la eficiencia energética. Genera y transmite energía eficiente de fuentes renovables con respaldo térmico. Además asesorar en el hogar, empresas o proyectos urbano para que se conecten con ventajas de la nueva era de la energía.	Caracterización del Sector, Generación Eléctrica, Otros Energéticos, Potencial, Solar
Corporación Autónoma Regional de Boyacá	CORPOBOYACÁ	https://www.corpoboyaca.gov.co	Pública	Regional	Ambiental y social	Lidera el desarrollo sostenible a través del ejercicio de autoridad ambiental, la administración y protección de los recursos naturales renovables y el ambiente, y la formación de cultura ambiental, de manera planificada y participativa.	Caracterización del Sector, Potencial, Carbón, Minería
Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca	CAR	https://www.car.gov.co	Pública	Regional	Ambiental y social	Ejerce como máxima autoridad ambiental en su jurisdicción, ejecutando políticas, planes, programas y proyectos ambientales, a través de la construcción de tejido social, para contribuir al desarrollo sostenible y armónico de la región.	Caracterización del Sector, Potencial, Carbón, Minería
Electrificadora de Boyacá	EBSA	https://www.ebsa.com.co	Mixta	Departamental	Energía Eléctrica	Dentro de sus proyecciones está la cobertura de todo el departamento en los sectores comercial, industrial y residencial; y su buena gestión se ve reflejada en el crecimiento de sus operaciones, con un sistema de distribución que beneficia áreas rurales y urbanas en 123 municipios del departamento de Boyacá.	Caracterización del Sector, Generación Eléctrica
Federación Nacional de Carbón	FENALCARBON	http://www.fenalcarbon.org.co/	Privada	Nacional	Minería	FENALCARBON, es una persona jurídica de derecho privado de carácter gremial, sin ánimo de lucro, con personería jurídica y patrimonio propio,	Caracterización del Sector, Carbón
Gobernación de Boyacá	NA	https://boyaca.gov.co/	Pública	Departamental	Gestión de administración	El Departamento administra los asuntos seccionales y planifica y promueve el desarrollo social y económico dentro de su territorio en los términos establecidos por la Constitución y la ley	Caracterización del Sector
Gobernación de Cundinamarca	NA	http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeplaneacion	Pública	Departamental	Gestión de administración	La Secretaría de Planeación lidera y orienta los procesos de planificación de carácter departamental, local y regional, a través de la gestión de información y proyectos estratégicos; promoviendo la formulación, seguimiento, evaluación y rendición de cuentas de las políticas públicas.	Caracterización del Sector
Ministerio De Minas Y Energía	MinMinas	https://www.minenergia.gov.co	Pública	Nacional	Energético	Su función consiste en la formación y adopción de políticas dirigidas al aprovechamiento sostenible de los recursos mineros y energéticos para la contribución del desarrollo económico y social del país.	Caracterización del Sector, Potencial, Carbón, Generación Eléctrica, Minería, Otros Energéticos
Secretaría de Minas y Energía de Boyacá	NA	http://boyaca.gov.co/gobernacion/gabinete-departamental/432-secretaria-de-minas-y-energia	Pública	Departamental	Energético	Propende por el Desarrollo Minero energético del Departamento, mediante la gestión y coordinación de la Asistencia y Asesoría en la optimización de los procesos productivos, la transferencia de Tecnología, el establecimiento de formas asociativas, la consecución de nuevos mercados, el fomento de la aplicación de los principios del desarrollo sostenible y la incorporación de las exigencias en materia de salud ocupacional que conlleve a reducir los impactos económicos de la accidentalidad laboral y los costos sociales en la producción de la riqueza sectorial.	Caracterización del Sector, Potencial, Carbón, Generación Eléctrica, Minería, Otros Energéticos
Secretaría de Minas y Energía de Cundinamarca	NA	www.cundinamarca.gov.co > Home > Secretaría De Minas Y Energía	Pública	Departamental	Energético	Busca el aprovechamiento de la estrategia del Gobierno Nacional en el aumento de la cobertura de energía eléctrica a favor del desarrollo del Departamento. Así mismo establecer y aprovecha las políticas del sector minero energético nacional en favor del desarrollo del Departamento.	Caracterización del Sector, Potencial, Carbón, Generación Eléctrica, Minería, Otros Energéticos
Unidad de Planeación Minero Energética	UPME	http://www1.upme.gov.co/Paginas/default.aspx	Pública	Nacional	Energético	Planea el desarrollo minero - energético, apoya la formulación e implementación de la política pública y genera conocimiento e información para un futuro sostenible. Es decir, planear en forma integral, indicativa, permanente y coordinada con los agentes del sector minero energético, el desarrollo y aprovechamiento de los recursos mineros y energéticos, así mismo, produce y divulga la información requerida para la formulación de política y toma de decisiones y apoya al Ministerio de Minas y Energía en el	Caracterización del Sector, Potencial, Carbón, Generación Eléctrica, Minería, Otros Energéticos