

Información Importante

La Universidad de La Sabana informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad de La Sabana.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le de crédito al documento y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, La Universidad de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA
UNIVERSIDAD DE LA SABANA
Chía - Cundinamarca



Universidad de
La Sabana

Impacto de la Estrategia de Distribución Local en la Calidad y Costo del Coque Metalúrgico para la Exportación

Alejandro Valencia Sanin

Universidad de La Sabana
Facultad de Ingeniería
Maestría en Diseño y Gestión de Procesos
Bogotá, Colombia
2014

Impacto de la Estrategia de Distribución Local en la Calidad y Costo del Coque Metalúrgico para la Exportación

Alejandro Valencia Sanin

Tesis presentada como requisito para optar por el título de:
Magister en Diseño y Gestión de Procesos

Director:

Dr. Alfonso Bermeo Muñoz

Codirector:

MSc. Rafael Tordecilla Madera

Énfasis:

Sistemas Logísticos

Universidad de La Sabana
Facultad de Ingeniería
Maestría en Diseño y Gestión de Procesos
Bogotá, Colombia
2014

Tabla de Contenido

Lista de Tablas.....	iv
Lista de Figuras	v
Lista de Anexos	vii
Resumen	viii
Introducción.....	ix
1. Planteamiento Del Problema	1
2. Justificación	2
3. Esquema General del Proyecto de Investigación	3
4. Objetivos.....	5
4.1. Objetivo General	5
4.2. Objetivos Específicos	5
5. Alcance.....	5
6. Diseño Metodológico	6
6.1. Metodología Descriptiva	6
6.2. Estudio de Mercado	7
6.3. Diseño Experimental	8
6.4. Comparación de Estrategias.....	9
7. Marco Referencial	10
7.1. Estrategias de Distribución.....	11
7.2. Carbón Metalúrgico.....	24
7.2.1. El Carbón en el Mundo	25
7.2.2. Distritos Mineros Colombianos	28
7.2.3. Reservas y Producción de Carbón Coquizable en Colombia	30
7.3. Coque Metalúrgico	32
7.3.1. Producción de Coque Metalúrgico en Colombia.....	36
7.3.2. Calidad del Coque Metalúrgico	38
8. Caracterización de la Cadena Logística del Coque en Colombia.....	40
8.1. Cadena Logística del Coque.....	41
8.2. Transporte de Coque en Colombia.....	44
8.2.1. Modalidades y Equipos.....	45

8.2.2.	Red Vial	47
8.2.3.	Puertos de Exportación	50
8.2.4.	Costos de la Estrategia de Distribución Actual	52
8.3.	Estrategias Potenciales de Distribución Intermodal	56
8.3.1.	La Cuenca del Río Magdalena.....	58
8.3.2.	Transporte Terrestre – Fluvial	64
8.3.3.	El Ferrocarril del Carare	67
8.3.4.	El Ferrocarril Central.....	69
8.3.5.	Concesión FENOCO.....	71
8.3.6.	Transporte Terrestre – Férreo	73
8.3.7.	Transporte Terrestre – Férreo - Fluvial	75
9.	Impacto de las Estrategias de Distribución en la Calidad del Coque Metalúrgico..	76
9.1.	Impacto en la Calidad del Coque Metalúrgico en la Estrategia Actual	76
9.2.	Experimentación en Campo	78
9.3.	Materiales y Métodos	80
9.3.1.	Coque Metalúrgico	80
9.3.2.	Manipulación del Coque Metalúrgico	81
9.4.	Toma de Muestras y Análisis De Calidad.....	83
9.5.	Resultados	84
10.	Evaluación de Estrategias.....	88
11.	Conclusiones, Limitaciones y Trabajos Futuros.....	93
11.1.	Conclusiones.....	93
11.2.	Limitaciones del Estudio.....	95
11.3.	Trabajos Futuros.....	95
12.	Anexos.....	97
13.	Referencias Bibliográficas	103

Lista de Tablas

Tabla 1. Resumen de estudios referenciales por autor.....	18
Tabla 2. Principales Países Consumidores de Carbón Coquizable en 2010 (millones de toneladas).....	28
Tabla 3. Distritos mineros, departamentos, municipios y tipo de carbón	30
Tabla 4. Reservas de Carbón por Distrito (Millones de Toneladas)	31
Tabla 5. Calidad típica del coque metalúrgico en el mercado internacional	39
Tabla 6. Dimensiones y Peso Bruto Vehicular Vehículos Configuración C3S2 y C3S3.	46
Tabla 7. Posición de Colombia en el Índice Global de Competitividad del Foro Económico Mundial FEM – Segundo pilar: Infraestructura	47
Tabla 8. Comparación de Rutas entre Lenguaque y Barranquilla.....	48
Tabla 9. Fletes de Transporte Terrestre desde Lenguaque/Guachetá hasta el Puerto de Barranquilla 2012 – 2013 (\$/Ton)	54
Tabla 10. Condiciones del canal navegable del Río Magdalena actuales	61
Tabla 11. Tipos de Convoyes Para Transporte de Carga Por el Río Magdalena.....	63
Tabla 12. Costos por Actividad Transporte Terrestre – Fluvial (Pesos Colombianos por tonelada).....	66
Tabla 13. Rutas y Longitudes de los Tramos del Ferrocarril del Carare	69
Tabla 14. Tramos Sistema Ferroviario Central	70
Tabla 15. Costo Transporte Terrestre - Férreo.....	74
Tabla 16. Costo Transporte Terrestre – Férreo – Fluvial.....	75
Tabla 17. Detalle de Actividades y Resultados Pruebas Físicas en la Experimentación.....	85
Tabla 18. Impacto Estrategias de Distribución en el Coque Metalúrgico	89
Tabla 19. Impacto de la Calidad en el Costo de Transporte.....	91

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema Proyecto de Investigación.....	4
Figura 2. Clasificación de los carbones según su rango (World Coal Institute, 2009).....	25
Figura 3. Reservas Medidas Mundiales de Carbón 2010	26
Figura 4. Producción Mundial de Carbón por País 2010	27
Figura 5. Producción Mundial de Carbón Coquizable 2010	27
Figura 6. Producción de Carbón Metalúrgico en Colombia (miles de toneladas).....	32
Figura 7. Producción Mundial de Coque	33
Figura 8. Participación Producción de Coque Países OECD 2010.....	33
Figura 9. Consumo de Coque Países OECD 2010.....	34
Figura 10. Exportaciones de Coque Países OECD y Colombia 2010.....	35
Figura 11. Importaciones de Coque Países OECD 2010.....	35
Figura 12. Producción de Coque (miles de toneladas).....	36
Figura 13. Exportaciones de Coque (miles de toneladas)	37
Figura 14. Cadena del Coque – Value Stream Mapping para 1 tonelada de coque puesta en puerto de exportación.....	43
Figura 15. Configuración Vehículos de Carga	46
Figura 16: Mapa de Rutas entre Lenguazaque y Barranquilla	50
Figura 17: Puertos de Exportación de Coque en Colombia 2011 – 2012.....	51
Figura 18. Evolución de Fletes de Transporte Terrestre desde Lenguazaque/Guachetá hasta el Puerto de Barranquilla 2012 – 2013	55
Figura 19. Comparativo de Capacidades de Carga por Tipo de Transporte.....	57
Figura 20. Histórico de Movilización de Carga por el Río Magdalena.....	60
Figura 21. Principales Puertos Fluviales Sobre el Río Magdalena	62
Figura 22. Esquema del Proyecto del Ferrocarril del Carare.....	68

Figura 23. Sistema Ferroviario Central	70
Figura 24. Concesión FENOCO	72
Figura 29. Comparativo Análisis Micum 40 - Coque Metalúrgico	77
Figura 30. Comparativo Análisis Granulométrico- Coque Metalúrgico	77
Figura 25. Pilas de Coque Metalúrgico	81
Figura 26. Equipos Utilizados en la Movilización de Coque Metalúrgico.....	82
Figura 27. Descargue de Coque Metalúrgico	83
Figura 28. Equipos Para Pruebas Físicas de Coque (1. Tambor Rotatorio; 2. Báscula; 3. Tamiz)	84
Figura 31. Resultados Granulométricos menor a 40 mm.....	86
Figura 32. Resultados Micum 40	86
Figura 33. Comparativo Resultados Micum vs Granulometría	87
Figura 34. Precio de Venta Coque Metalúrgico Colombiano en 2012	90
Figura 35. Cadena del Coque – Value Stream Mapping para 1 tonelada de coque puesta en puerto de exportación.....	92

Lista de Anexos

Anexo 1. Resultados Calidad Censo Buques Coque Metalúrgico C.I. Carbocoque S.A.	97
Anexo 2. Resultados Calidad Experimentación	97
Anexo 3. Marcación de Pilas de Muestras de Coque Metalúrgico.....	98
Anexo 4. Pesaje de Muestras de Coque Metalúrgico.....	98
Anexo 5. Análisis de Granulometría (1).....	99
Anexo 6. Análisis de Granulometría (2).....	99
Anexo 7. Análisis MICUM (1)	100
Anexo 8. Análisis MICUM (2)	100
Anexo 9. Certificado de Análisis de Calidad de Laboratorio Coque Metalúrgico en Puerto de Exportación.....	101
Anexo 10. Costo de Operación del Transporte de Carga Terrestre.	102

Resumen

Se expone en este trabajo como está configurada la estrategia de distribución del coque metalúrgico en Colombia para transportar este producto desde las plantas de producción en el interior del país hacia los puertos de exportación en la costa Atlántica. Se estudian posibles alternativas multimodales que puedan permitir una mejor distribución del producto y a un menor costo. Finalmente, se evalúa el impacto que tienen las posibles alternativas multimodales en la calidad del coque metalúrgico a fin de determinar el beneficio real que puedan tener las alternativas expuestas y donde se concluye que la alternativa Terrestre – Fluvial con un costo por tonelada de \$77.034 y una afectación en la granulometría de 1,22%, es la más conveniente para el transporte del coque metalúrgico desde la región cundiboyacense hasta el puerto de Barranquilla.

Palabras clave: transporte multimodal; distribución de coque; coque metalúrgico; calidad del coque metalúrgico.

Abstract

It is presented in this study how is configured the distribution strategy for the metallurgical coke in Colombia to transport this product from the coking facilities in the centre of the country to the export ports in the Atlantic coast. Multimodal alternatives that may allow a better distribution of the product to the port at a lower cost are evaluated. Finally, the quality impact of the potential alternatives on metallurgical coke is evaluated in order to establish the real benefit of each alternative, concluding that the Inland – River transport alternative with a total cost per ton of \$77.034 and affecting the size just 1,22%, is the best alternative for the transportation of metallurgical coke form the cundiboyacense region to the port of Barranquilla.

Key words: multimodal transportation; coke distribution; met coke; met coke quality.

Introducción

El coque metalúrgico es un combustible sólido derivado del procesamiento del carbón metalúrgico mediante un proceso de coquización para ser utilizado en la industria del hierro y el acero como suministro en la fundición. Colombia cuenta con un gran potencial de reservas de carbón metalúrgico concentradas en Cundinamarca y Boyacá, lo que también supone una gran oportunidad para la producción de coque metalúrgico.

Actualmente todo el coque metalúrgico que se produce en el altiplano Cundiboyacense colombiano, es transportado hacia los puertos de exportación vía terrestre mediante tractomulas con capacidades de 31 y 35 toneladas, lo que impide en gran medida la competitividad del coque colombiano en el mercado internacional, pues los costos y capacidades de carga hacen que éste tipo de transporte no sea eficiente (Ministerio de Minas y Energía, 2011).

El principal puerto exportador de coque en Colombia es el puerto de Barraquilla, pues cuenta con la infraestructura adecuada para almacenar y movilizar este tipo de producto, adicionado a que por el tipo de producto su mercado se encuentra dirigido hacia Europa, Brasil y Norte América.

Debido a que el coque metalúrgico es considerado un producto de altos volúmenes, el transporte terrestre se considera ineficiente, por tal razón el transporte férreo y fluvial deben ser considerados como alternativas para el transporte de éste tipo de producto (Beresford, et al., 2011). Por lo tanto y considerando los planes de desarrollo que en infraestructura vial, férrea, fluvial y portuaria viene adelantando el gobierno colombiano, se deben evaluar estas alternativas como posibles estrategias de distribución del coque metalúrgico hacia los puertos de exportación (Agencia Nacional de Infraestructura, 2013).

Así mismo el coque metalúrgico tiene unas características de calidad mínimas que debe cumplir para que pueda ser comercializado en el mercado internacional como suministro para el alto horno en la producción de acero, la cual se puede ver afectada por los movimientos de cargue y descargue a los que se somete a lo largo de la cadena de distribución. Es por esto que la calidad del coque metalúrgico debe ser evaluada en cada una de las alternativas (vial, férrea y fluvial) para determinar el impacto que puedan tener en cuanto a porcentaje de granulometría (tamaño) y Micum 40 (resistencia mecánica) se refiere. Ya que por

el incremento de movimientos y manipulación del producto éste es susceptible a un cambio en su calidad, que al final puede afectar el costo de cada estrategia de distribución (Goscinski, 2013) (Todoschuk, 2013).

Estudios de transporte de productos similares como carbón y mineral de hierro desarrollados por Belanina, (2013), y Beresford, et al., (2011), encuentran alternativas multimodales con mayor eficiencia, sin embargo al analizar minerales que por efecto del transporte sus características fisicoquímicas no se ven afectadas, no tienen en cuenta este criterio para determinar un posible impacto en la calidad del producto y por ende el impacto en el costo del producto. El coque metalúrgico por el contrario sí se ve alterado en su estructura física, principalmente por efecto de los diferentes movimientos de cargue y descargue, los cuales se estudian en este trabajo para establecer qué efecto tienen en la calidad del producto para su exportación y sirve como punto de partida para futuros estudios sobre el transporte y la calidad del coque, puesto que la literatura relacionada con este material es escasa.

Sin embargo y por el tipo de producto y de industria, la información científica en cuanto a coque metalúrgico se refiere es muy limitada e inclusive no se encontró información relacionada con el impacto en la calidad del coque debido a los movimientos que se generan por el transporte y tampoco alguno que relacionara la calidad con el costo, lo cual le da importancia a este trabajo a nivel científico e industrial, pues sirve de consulta y punto de partida para nuevos estudios relacionados con la distribución y calidad del coque metalúrgico.

1. Planteamiento Del Problema

El Coque Metalúrgico es un combustible sólido derivado del procesamiento del carbón metalúrgico por medio de un proceso de coquización o carbonización. Este producto es utilizado principalmente en la industria del hierro y el acero en los procesos de fundición del mineral de hierro como suministro para los altos hornos como combustible, como agente reductor y como soporte permeable. Más del 95% del total del coque producido a nivel mundial se utiliza en éstos altos hornos (Oxbow Co., 2012).

Colombia cuenta con un potencial de reservas de carbón metalúrgico de 1.226 millones de toneladas, localizadas principalmente en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá con una participación del 40% y 48% respectivamente (Ministerio de Minas y Energía, 2010), lo que supone de igual manera un gran potencial para el desarrollo de la industria del coque en Colombia.

Las exportaciones de coque Colombiano se han incrementado en más de un 14% en los últimos 6 años como lo expone la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2012), pasando de una producción de 1,59 millones de toneladas en el 2005 a 1,89 millones en el 2011 y logrando la producción más alta en el 2008 con 2,78 millones de toneladas, lo que demuestra la importancia del desarrollo de estrategias de distribución para este producto.

En Colombia la producción de coque está concentrada principalmente en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca y en menor proporción en los Santanderes, ésta última tiene su principal destino de exportación Venezuela. Actualmente el 100% de la distribución del coque metalúrgico que se produce en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca se hace mediante tractomulas, desde el cargue en las plantas de producción hasta el descargue en los patios de acopio en los puertos de exportación, sin embargo la infraestructura vial que soporta éstas rutas como se expone en los estudios de UPTC-UNALMED-UNINORTE y CORMAGDALENA es precaria e impide movilizar grandes volúmenes. Más aún, es visto como un cuello de botella para las empresas al ver limitadas sus capacidades de distribución y por ende su posibilidad de incrementar su producción y crecimiento (CRU Strategies, 2007) (Márquez, 2011).

Debido a lo anterior, se deben buscar nuevas alternativas de transporte para estos minerales desde el interior del país hacia los puertos de exportación, no solo que

permitan movilizar grandes volúmenes, sino también que sean más rentables y no afecten la calidad de los productos para ser comercializados en el mercado internacional y mantener la competitividad en el entorno global.

2. Justificación

Al determinar el impacto de las estrategias de distribución en la calidad y costo del Coque Metalúrgico colombiano como producto de exportación, le permitirá a las empresas exportadoras tener un panorama mucho más amplio respecto a que estrategia elegir en determinado momento, pues podrán determinar realmente cuales son las opciones que tienen para distribuir su producto hacia los puertos de salida con destino al mercado de exportación ya que en la actualidad como se mencionó anteriormente el 100% del transporte de coque hacia los puertos se hace vía terrestre por medio de tractomulas.

De igual manera el desarrollo en infraestructura y la estabilidad macroeconómica de las zonas de influencia permitirán mantener e incentivar el crecimiento no solo de las regiones afectadas sino también el de la nación en general ya que estas actividades determinan en gran medida el nivel de competitividad de todo un país (Rodríguez Calderon, et al., 2010).

Los índices de calidad Micum 40 y de Granulometría pueden ser afectados y alterados en la medida en que el manejo del producto durante el transporte, cargue y descargue y los patios de acopio y almacenamiento no se haga de manera adecuada ya que puede sufrir impactos fuertes que resulten en una disminución de su granulometría y por ende en un menor porcentaje de Micum 40 (C.I. Carbocoque S.A., 2013). Estudiar dicho impacto en la cadena de distribución le permitirá no solo a las empresas exportadoras sino también a otros investigadores a tener una base de comparación y análisis en futuros estudios relacionados con transporte de coque metalúrgico, ya que en la literatura consultada no se encontraron estudios relacionados con el comportamiento de la calidad de este producto.

Al no encontrar investigaciones de este tipo en la literatura consultada y evidenciar una precaria información sobre el coque metalúrgico, se percibe como un punto de partida en futuros estudios relacionados con el transporte de coque y el impacto en la calidad del producto.

3. Esquema General del Proyecto de Investigación

El desarrollo de este proyecto de investigación consta de trece capítulos que permiten abordar cada uno de los eslabones que componen el problema que se ha planteado anteriormente y poder alcanzar los objetivos planteados de manera sistemática.

Como primera medida en el capítulo 6 se expone la descripción de la metodología utilizada a lo largo del trabajo para resolver los objetivos planteados la cual se divide en 4 partes, la revisión de literatura para caracterizar la cadena logística del coque metalúrgico, un análisis de mercado para obtener los costos de las estrategias, una experimentación para determinar el impacto de las estrategias en la calidad del coque metalúrgico y una comparación de estrategias para encontrar la que mejor relación calidad/costo presenta.

Se considera la revisión de la literatura científica y de industria en el capítulo 7, la cual se divide en dos partes, la primera aborda el tema de estrategias de distribución, desde su definición hasta las características y principales consideraciones realizadas por varios autores centrándose en la estrategia multimodal, y la segunda aborda el tema del carbón metalúrgico y coque metalúrgico como elemento de estudio.

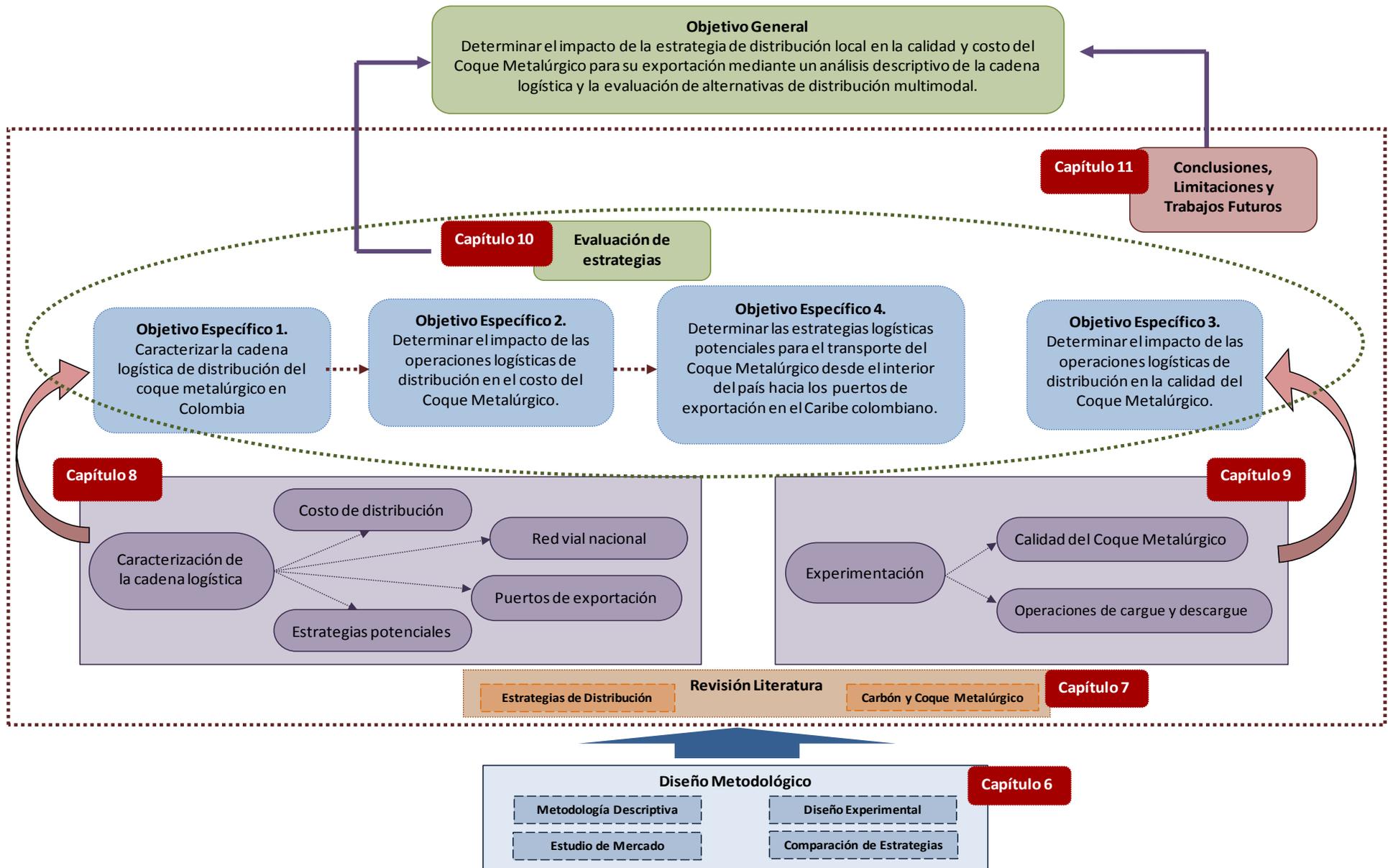
El capítulo 8 cubre todo lo referente a la caracterización de la cadena logística del coque metalúrgico en Colombia, desde el transporte, pasando por las modalidades y equipos utilizados, la red vial nacional, los puertos de exportación y la determinación de los costos de distribución hasta el planteamiento de estrategias potenciales de distribución que permitan una mayor eficiencia para la exportación del producto.

Luego en el capítulo 9 se evalúa el impacto de las operaciones de cada estrategia en la calidad del coque metalúrgico, se evalúa la estrategia actual a través de un censo de los buques exportados por C.I. Carbocoque S.A. durante el 2013 y se evalúan las estrategias multimodales por medio de la experimentación en campo.

Con la determinación del impacto de las diferentes operaciones de cargue y descargue en la calidad del coque metalúrgico, en el capítulo 10 se evalúan las diferentes estrategias multimodales estudiadas y se determina el impacto real que tienen estas en cada una de las estrategias propuestas para definir su costo.

Finalmente en el capítulo 11 se presentan las conclusiones, limitaciones y aportes para trabajos futuros que se derivan de esta investigación. La Figura 1 muestra gráficamente el pensamiento lógico con el que se aborda la investigación.

Figura 1. Esquema Proyecto de Investigación.



Fuente: elaboración propia

4. Objetivos

Para llevar a cabo el desarrollo de este trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

4.1. Objetivo General

Determinar el impacto de la estrategia de distribución local en la calidad y costo del Coque Metalúrgico para su exportación mediante un análisis descriptivo de la cadena logística y la evaluación de alternativas de distribución multimodal.

4.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar la cadena logística de distribución del Coque Metalúrgico en Colombia.
2. Determinar el impacto de las operaciones logísticas de distribución en el costo del Coque Metalúrgico.
3. Determinar el impacto de las operaciones logísticas de distribución en la calidad del Coque Metalúrgico
4. Determinar las estrategias logísticas potenciales para el transporte del Coque Metalúrgico desde el interior del país hacia los puertos de exportación en el Caribe colombiano.

5. Alcance

Para evaluar el impacto de la calidad en la estrategia de distribución del coque metalúrgico, éste proyecto sólo considera el análisis del Micum 40 (resistencia mecánica) y la Granulometría (tamaño), dado que el CRI, CRS, cenizas y otros parámetros se consideran estables y dependen de la calidad de la mezcla de los carbones utilizados para la producción de coque, siendo intrínsecas sus propiedades que no son afectadas por el transporte del mismo. Así mismo, el estudio del impacto económico corresponde a variables de costo/tonelada y no incluye medición de tiempos y distancias ni implica modelación matemática dado el tipo de investigación que se propone metodológicamente.

6. Diseño Metodológico

El presente proyecto de investigación es de tipo descriptivo, experimental – correlacional. Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos se desarrolla la siguiente metodología:

6.1. Metodología Descriptiva

Para el desarrollo del objetivo 1, se realizó una revisión de literatura sobre el carbón y coque metalúrgico, el transporte de carga y las posibles estrategias de distribución como se describe a continuación:

La revisión de literatura se realizó en dos partes, la primera mediante una búsqueda en las bases de datos científicas Science Direct y Emerald dentro de un horizonte de tiempo de 20 años de manera que se cubriera la mayor cantidad de información disponible centrándose en los documentos más recientes relacionados con el transporte multimodal y de minerales como el carbón y coque.

Las consultas se realizaron utilizando las palabras: multimodal transport, coal transport, coke transport, barge transport, rail transport, freight transport, transport costs, coke production, coke quality, metallurgical coke.

Se revisó inicialmente el transporte de carga, los tipos de transporte y se enfatizó en el transporte multimodal, definiciones e indicadores que permiten su comparación como las que se plantean en los estudios de Mora, (2014), Walters, (2013) y Crainic & Kim, (2007). Asimismo se enfatizó en el beneficio del transporte multimodal para el transporte de carga de altos volúmenes como lo es el coque metalúrgico que se exponen en los estudios de Flodén, (2007), SteadieSeifi, et al., (2013) y Beresford, et al., (2011).

También se analizaron las configuraciones del transporte de carga a granel en los estudios consultados, especialmente de carbón y mineral de hierro que se encontraron en la literatura, profundizando en los modos de transporte utilizados, las rutas utilizadas y los costos de las estrategias de distribución planteadas (Belanina, 2013) (Odoyo, et.al., 2014) (Márquez, 2011).

La segunda parte se centró en la búsqueda de información en bases estadísticas y de información industrial y pública en Colombia sobre la producción de carbón metalúrgico, coque metalúrgico, transporte de carga, transporte terrestre, fluvial

y férreo y sobre proyectos de infraestructura que se piensen desarrollar para el transporte de carga en el país (Ministerio de Minas y Energía, 2011) (Ministerio de Transporte, 2011) (UPME, 2012) (Cormagdalena, 2014).

La búsqueda se realizó en documentos que estuvieran vigentes y con un horizonte de tiempo no mayor a diez años del Ministerio de Minas y Energía, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Agencia Nacional de Minería, Cormagdalena, Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), Ministerio de Transporte y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), elegidas bajo el criterio que estas entidades son las encargadas del control, administración y desarrollo de las actividades mineras, transporte e infraestructura en Colombia. Por lo tanto la revisión se centro en la búsqueda de información relacionada con la industria del carbón y el coque metalúrgico y los planes de desarrollo de infraestructura, principalmente los que tienen que ver con el transporte terrestre, férreo y fluvial (Ministerio de Minas y Energía, 2011)

La revisión de literatura permite enmarcar este trabajo para soportar que las estrategias de distribución multimodal están siendo utilizadas globalmente para el transporte de minerales que se asimilan al coque metalúrgico objeto de estudio de este trabajo y que son de vital importancia para lograr la competitividad no solo del producto sino también de un país (Ghiani, et al., 2013).

De igual forma es la base para la caracterización de la cadena logística y el planteamiento de diferentes alternativas de distribución del coque en el territorio colombiano (Ministerio de Minas y Energía, 2011).

6.2. Estudio de Mercado

Para cumplir el objetivo 2 se realizó un estudio de mercado para determinar los costos de las operaciones logísticas para la distribución del coque metalúrgico hacia el puerto de Barranquilla como el que expone Márquez (2011), y como lo sustentan Belanina (2013) y Flodén (2007), estudiando en este caso los precios por tonelada de transporte del año 2012 al 2013 y poder encontrar un valor promedio en las estrategias de distribución propuestas.

El estudio consistió primero en visitas de campo a las zonas de influencia de origen de la carga del coque metalúrgico y entrevistas con dos compañías líderes en la exportación de coque en Colombia y una de las principales empresas de transporte de coque metalúrgico para determinar las tarifas de los fletes terrestres que cada uno de ellos ejecutó en el periodo 2012 – 2013 y poder

realizar una comparación de estas y así hallar un costo promedio por tonelada (Belanina, 2013), se entiende por fletes como la tarifa que deben pagar las empresas exportadoras por el transporte de sus productos a las empresas de transporte de carga y donde se consideran todos los costos asociados y en los que incurren los transportadores como costo de capital, salarios, mantenimiento de vehículos, combustibles, lubricantes, entre otros además de los relacionados con la infraestructura como tiempos de transporte y demoras como se expone en el estudio del Ministerio de Minas y Energía, 2011.

De igual manera en las entrevistas con las compañías se consultaron las posibles tarifas por tonelada que se pueden obtener en caso de que una estrategia multimodal fuera posible. También se consultó una empresa de transporte fluvial que permitió contrastar la información y obtener una tarifa de transporte fluvial y multimodal de coque por el Río Magdalena. Esto permitió definir el costo de las estrategias propuestas en cada una de las actividades relacionadas, desde el transporte de la planta, los almacenajes y movimiento de carga en patios de acopio y de transferencia, hasta el transporte a puerto de exportación como lo plantea Banomyong, et al., 2001.

También se pudo determinar mediante el estudio de mercado, que algunos costos presentados en los estudios consultados están vigentes y pueden ser utilizados dentro del análisis de las estrategias, especialmente el estudio realizado por Márquez (2011) que se sustenta en el estudio del Ministerio de Minas (2011) y donde expone los costos por kilómetro por tonelada en los modos terrestre, férreo y fluvial en el territorio colombiano.

6.3. Diseño Experimental

Para cumplir con el objetivo 3, se realizó una experimentación en campo que permitiera representar una operación multimodal donde existe una mayor cantidad de movimientos de cargue y descargue y así poder determinar el impacto que estos movimientos tienen en la calidad del coque metalúrgico como lo expresa McGuire (2013).

Se representa mediante un cargador y una volqueta los posibles movimientos que puede tener el coque metalúrgico en una operación multimodal, donde el producto debe ser transportado por varios modos de transporte y donde existen movimientos de cargue y descargue hacia y desde los diferentes modos. Lo anterior basados en los estudios presentados por De Villiers (2010) y Gabler & Poschke (2013) sobre la experimentación y su contribución para descubrir

problemas ocultos cuando la información es limitada y lo expuesto por Todoschuk (2013) y Goscinski (2013) sobre los beneficios de una experimentación en el desarrollo de este estudio.

En primer lugar y como punto de referencia se realizó una recolección de datos mediante un diseño retrospectivo a través de un censo de los buques exportados de coque metalúrgico por la compañía C.I. Carbocoque S.A. durante el año 2013, un total de 6 buques. Sobre estos buques se consultaron los resultados de los análisis de calidad realizados al momento del despacho de planta y del cargue al buque bajo las normas de la American Society for Testing Materials (ASTM) (ASTM International, 2004). Los análisis fueron entregados por la compañía divididos en dos, la primera parte referente a los análisis de calidad en el despacho a puerto desde las plantas realizados por el laboratorio de la planta y la segunda parte referente a los análisis de calidad del cargue del buque certificados por un laboratorio externo acreditado internacionalmente.

En segundo lugar para conocer el impacto en la calidad por efecto de los movimientos de cargue y descargue de la experimentación, se hicieron análisis de laboratorio en cada una de las actividades propuestas los cuales fueron realizados por el laboratorio de la planta de C.I. Carbocoque S.A., el cual cuenta con personal especializado y los equipos necesarios para realizar estos análisis siguiendo los lineamientos, métodos y actividades que exigen las normas internacionales de la ASTM tanto para la recolección de muestras como para los análisis de Granulometría y Micum.

Para efectos de este estudio la calidad del coque metalúrgico solo fue considerada para el porcentaje de Granulometría y Micum 40 como se mencionó en el alcance (ASTM International, 2004).

6.4. Comparación de Estrategias

Para cumplir el objetivo 4, se realizó una comparación de las estrategias encontradas en la revisión de la literatura y poder determinar los costos reales y encontrar la que mayor eficiencia presenta a través de un análisis de costos de distribución tomando como referencia los estudios de Belanina, (2013), Beresford, et al., (2011), y Márquez, (2011), y basado en las siguientes variables controlables y de respuesta:

- Variable controlable:

- Estrategia de distribución: estrategia de transporte para la distribución del coque metalúrgico hacia los puertos de exportación.
- Variables de respuesta:
- Calidad de coque metalúrgico: característica fisicoquímica del coque metalúrgico. Índices de medida: porcentaje (%) Micum 40 y porcentaje (%) Granulometría.
 - Costo transporte coque metalúrgico: costo por tonelada pagado para transportar el coque metalúrgico desde las plantas de producción hasta los puertos de exportación. Medido en pesos/tonelada en cada parte del proceso (Transporte, Almacenamiento y Movimientos de Cargue y Descargue) hasta su llegada al patio de acopio en puerto. Para ello se realizó un estudio de precios de mercado y estimación de costos de operación; se definieron los costos de distribución del coque metalúrgico para cada estrategia propuesta y a partir de los resultados de calidad en los ensayos experimentales se determinó qué estrategia es la que mejor relación costo/calidad tiene.

7. Marco Referencial

En este capítulo se expone el marco referencial del estudio.

Inicialmente en el numeral 7.1 se presentan las principales referencias encontradas en la literatura que soportan la estrategia de distribución y en particular las que hace referencia al transporte multimodal. En primera instancia se define que es una estrategia de distribución, pasando por la estrategia terrestre como método utilizado comúnmente en los países latinoamericanos, las estrategias férreas y fluviales y el potencial de las estrategias multimodales.

También se exponen estudios de diferentes autores relacionados con el transporte multimodal donde queda en evidencia que pueden ser usados con resultados positivos y donde el transporte terrestre para el caso de los productos de altos volúmenes es ineficiente. Esto permite darle una base teórica a este trabajo puesto que el coque es considerado un producto de alto volumen.

De otra parte se presentan indicadores que permiten evaluar el desempeño de las estrategias de distribución y que demuestran la diferencia que se tienen entre una

y otra estrategia en cuanto a la relación de peso y volumen, en los cuales el modo fluvial es el que mejor relación peso/volumen tiene.

Seguidamente en el numeral 7.2 se presenta el marco referencial para el carbón metalúrgico, mineral con el cual se produce el coque metalúrgico, objeto de estudio del presente trabajo. Se explica brevemente su origen y composición, luego se muestran las producciones en el mundo y como está configurada la industria para finalmente centrarse en el potencial que posee el territorio colombiano para su explotación por sus importantes reservas.

Para finalizar el marco referencial, el numeral 7.3 expone todo lo concerniente al coque metalúrgico. Se describen sus principales características, el uso en la industria del acero, se presentan las demandas y producciones mundiales y se resalta la industria en Colombia, donde se pueden ver las producciones y exportaciones históricas de este producto y en el cual se evidencia el gran potencial que tiene en el mercado internacional pues más del 78% de la producción está dirigida a este mercado. Finalmente se describen los principales parámetros y requisitos de calidad con los que debe contar el coque metalúrgico para poder ser comercializado, de lo contrario estará sujeto a una penalidad por incumplimiento de calidad que se traduce en un precio de venta menor y por lo cual se determinó como un objetivo a desarrollar en este trabajo.

7.1. Estrategias de Distribución

Una estrategia de distribución física o de transporte, es un plan de acción diseñado para mover productos desde una fuente hasta un punto de consumo o destino final, de manera que se logre un costo competitivo y se cumpla con las exigencias de los clientes (Walters, 2003).

En Colombia y en general en Latinoamérica, el transporte terrestre es uno de los factores que más impacta dentro de la competitividad regional, por tal motivo se deben evaluar alternativas complementarias que mitiguen este impacto o inclusive logren superarlo, tanto así que debido al crecimiento económico mundial y la evolución de la globalización los requerimientos de transporte eficiente y económico se han incrementado, convirtiendo el proceso de toma de decisiones en transporte en uno de los temas que más preocupa a nivel gerencial (Bravo, et al., 2007). Por lo tanto ampliar el mapa de opciones en la toma de decisiones para la distribución del coque metalúrgico se vuelve relevante a la hora de mejorar la competitividad.

Estudios revelan que la infraestructura relativa al transporte internacional para el caso de Latinoamérica, aún no está del todo desarrollada y que existen áreas donde se debe trabajar para que haya una mayor integración y de esta manera lograr que el comercio internacional presente grados de competitividad que posicionen la región en un punto más favorable (Zamora Torres & Pedraza Rendón, 2013). Por eso se estudian alternativas que permitan integrar en este caso particular las estrategias de distribución del interior del país hacia los puertos de exportación.

Odoyo, et.al., (2014), señalan que entre las empresas manufactureras el costo del transporte promedio alcanza el 20% del costo total de producción y que más del 50% del costo logístico es atribuible a solo el costo de transporte. Ballou, (2004), menciona que en la logística, el transporte absorbe un porcentaje más alto de los costos que cualquier otra actividad, también expone seis variables claves para la selección del transporte descritas por McGinnis: “1) tarifas de fletes; 2) seguridad o confiabilidad; 3) tiempo en tránsito; 4) pérdidas, daños procesamiento de quejas y reclamos, y rastreo; 5) consideraciones de mercado del consignatario, y 6) consideraciones del transportista”. De las anteriores variables se estudian en este trabajo las relacionadas con las tarifas y daños del producto, este último relacionado con la calidad del coque en el proceso de transporte a puerto.

Existen múltiples estrategias de distribución como pueden ser la Terrestre, Férrea, Marítima, Fluvial, entre otras. La literatura define diferentes terminologías en la industria del transporte, existe el transporte multimodal, intermodal, co-modal, y recientemente se habla de transporte sincro-modal (Verweij, 2011). La Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, UNECE por sus siglas en inglés, (2009), define el transporte de carga multimodal como el transporte de bienes por una secuencia de al menos dos modos diferentes de transporte, independientemente de la unidad de transporte, la cual puede ser en cajas, contenedores, camiones, trenes o buques. El transporte intermodal lo definen Crainic & Kim, (2007), como un tipo particular de transporte multimodal, donde la carga se transporta desde origen hasta destino en una sola unidad de transporte, sin manipular la carga. La CEC, (2006), define el transporte co-modal como el uso de dos o más modos de transporte pero con dos diferencias particulares con respecto al multimodal, primero, es el uso de un grupo o consorcio de transportistas en la cadena, y segundo, los modos de transporte son usados para maximizar los beneficios de todos los modos en términos de sostenibilidad. Finalmente, el transporte sincro-modal está posicionado como el siguiente paso

después del transporte intermodal y co-modal, e involucra una combinación estructurada, eficiente y sincronizada de dos o más modos de transporte (Verweij, 2011). Es por esto que evaluar las diferentes alternativas de transporte en Colombia para el coque metalúrgico podría permitir mayores beneficios competitivos por efectos de distribución.

El objetivo principal detrás del transporte multimodal como lo señala Flodén, (2007) y Rodríguez, et al., (2009), lo reiteran, es poder utilizar las fortalezas de los diferentes modos de transporte en una cadena integrada y de esta manera mejorar el desempeño en términos económicos. El transporte multimodal al ser considerado menos intensivo en consumo de energía que el transporte terrestre (Woodburn, et al., 2007), también es considerado un importante contribuyente para alcanzar un sector de transporte sustentable (Macharis, et al., 2011). Lo anterior se vuelve relevante dentro de este trabajo al analizar cómo al utilizar las fortalezas de diferentes modos de transporte permite un beneficio en costo para la distribución del coque metalúrgico.

Investigaciones sobre la planeación del transporte multimodal señalan la importancia de encontrar los mejores medios para el transporte de carga que tengan tanto eficiencia como efectividad pues los costos dentro de la cadena de suministro son significativos (Ghiani, et al., 2013). La localización de los centros de distribución y consolidación de carga también son de relevancia en el transporte multimodal, pues estos deben estar estratégicamente localizados para que el movimiento de mercancía a los otros medios sean las adecuadas (Stahlbock & Voß, 2008).

De otra parte las estrategias de transporte deben evaluarse según el requerimiento, además del costo, el medio de transporte, el material al transportar, entre otras variables que hacen que un medio de transporte sea mejor que otro o que por las condiciones geográficas y de disponibilidad de elementos una de las estrategias tenga que ser obligatoriamente adoptada y acoplar la carga a este tipo de transporte (Lemoine & Tague, 2004). Diferentes variables deben ser tenidas en cuenta al momento de definir la mejor estrategia para que al final de la cadena el resultado sea el más eficiente y se logren los mejores resultados tanto para la compañía como para el cliente final. Por ejemplo una red de corredores puede resultar más atractiva en la medida en que la región cuente con vías navegables, mientras que un transporte de tiempo-sensible, como

alimentos perecederos, entregas urgentes o productos peligrosos, pueden requerir estructuras de transporte diferentes (SteadieSeifi, et al., 2013).

Se ha demostrado que el transporte multimodal coexiste satisfactoriamente en la medida en que se haga un uso eficiente de cada uno de los modos y siempre y cuando no exista interferencia entre ellos (Beresford, et al., 2011). La evaluación de alternativas multimodales en diferentes escenarios han puesto en contraste la utilización de diferentes estrategias para el transporte de productos, ya sea desde un centro de producción a un centro de consumo local, desde un centro de producción a un puerto de exportación o desde un centro de producción a un centro de consumo en un país diferente. Se evidencia una dificultad de construir una estrategia eficiente de transporte optimizando los costos y recursos de distribución pues se tiende a concentrar la atención en el cliente descuidando el impacto financiero de la estrategia de distribución seleccionada o en el costo financiero descuidando el impacto en el cliente (Bravo, et al., 2007).

Diferentes autores han abordado el tema del transporte enfocándose en la optimización de recursos y demostrando la importancia del transporte multimodal aplicado a la industria minera y siderúrgica, donde se ubica el coque metalúrgico. Las principales conclusiones de algunos de estos estudios se presentan a continuación donde se aprecia claramente la importancia de diferentes estrategias de transporte en estas industrias debido al alto volumen que manejan y cómo la estrategia multimodal siempre está presente en cada uno de ellos como la principal posibilidad para obtener los mejores beneficios.

SteadieSeifi, et al., (2013), exponen que el transporte de carga es un componente clave en la cadena de suministro, sin embargo el transporte terrestre convencional viene perdiendo cada vez más importancia y ha dejado de ser una solución viable en un mundo globalizado. Mientras tanto el transporte multimodal de carga ofrece una plataforma avanzada para un transporte más eficiente, flexible, confiable y sostenible.

Belanina, (2013), realiza una evaluación del potencial del transporte multimodal en Indonesia para la industria minera a partir de un Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA) y concluye que en caso de existir una posible disponibilidad de vías fluviales, los productores debieran usar estas vías ya que ofrecen los menores costos por tonelada en comparación con los terrestres y férreos.

También hace énfasis en las alternativas para combinar diferentes medios de transporte y poder hacer más eficiente esta operación dentro de la cadena.

En otro estudio Beresford, et al., (2011), hacen una investigación sobre cadenas de suministro multimodales para el transporte de mineral de hierro desde Australia hacia China, y en ésta encuentran que la mejor alternativa para el transporte del mineral de hierro es una combinación multimodal de transporte férreo y fluvial por ser un producto de alto volumen, sin embargo mientras los corredores férreos se encuentren congestionados el transporte terrestre aparece como un efectivo sustituto, no obstante esto solo es posible en la medida que las distancias no sean significativas y el transporte terrestre pueda ser eficiente.

Finalmente Márquez, (2011), realiza una optimización de una red de transporte combinado para identificar las rutas óptimas del carbón colombiano desde el interior del país hasta los puertos de exportación con un flujo de costo mínimo. En este modelo se resalta la importancia del Río Magdalena como medio de transporte estratégico y concluye que los carbones de Boyacá y Cundinamarca deben ser transportados por vía férrea hasta centros de transferencia en Barrancabermeja y Bocas del Carare para luego iniciar una etapa de transporte fluvial hasta el puerto de Barranquilla. Adicionalmente encuentra que el transporte terrestre es 3.34 veces más costoso que el fluvial y el ferroviario 1.53 veces que este mismo.

Los diferentes estudios mencionados anteriormente demuestran que el coque metalúrgico que se produce en Colombia puede ser distribuido utilizando cadenas de suministro multimodales, de manera que se logre flexibilidad y eficiencia aprovechando las múltiples opciones con las que se cuenta en el territorio como el transporte férreo, fluvial y terrestre.

Para el caso del coque metalúrgico, se debe analizar también cómo afectan estas estrategias en la calidad del producto debido a que por su configuración, éste puede ser susceptible a cambios en su calidad que deben ser considerados antes de elegir que alternativa tomar, pues este impacto como lo expresa SteadieSeifi, et al., (2013), por efectos en calidad, la alternativa mas económica no necesariamente es la más conveniente.

Como lo expresa Foldén, (2007), el transporte multimodal es casi siempre economicamente competitivo, por lo tanto el reto más importante que tiene no

es el costo, sino lograr que la recogida y entrega de mercancías sean más competitivas con respecto al transporte completamente terrestre. En este sentido este trabajo toma mayor relevancia al buscar identificar la competitividad del transporte multimodal para el coque metalúrgico teniendo en cuenta que los movimientos de carga y descarga afectan la calidad del producto.

La elección de los modos de transporte se puede usar buscando una ventaja competitiva, ya sea de servicio o de costo, como el que se presenta en este trabajo, ya que por la naturaleza del mercado del coque los fletes varían según la relación de oferta y demanda y pueden permitir un mayor margen en la venta del producto como se verá más adelante (Ballou, 2004).

Para el caso del coque metalúrgico la calidad es una característica indispensable con la que debe contar el producto para que pueda ser ofertado en el mercado internacional. Determinar el porcentaje de degradación o deterioro del inventario o material disponible, es una variable fundamental al momento de elegir la estrategia de distribución más adecuada.

En la literatura se encuentran indicadores para calcular el deterioro del inventario y uno de ellos se define como: “nivel de mercancía no disponible para despachos por obsolescencia, deterioro, averiadas, devueltas, en mal estado, vencimiento, etc.” (Mora, 2014). La fórmula se expresa como un porcentaje y se expone a continuación:

$$\text{Deterioro del Inventario} = \frac{\text{Unidades Dañadas} + \text{Obsoletas} + \text{Vencidas}}{\text{Unidades Disponibles}} \quad (5.1)$$

Donde las unidades disponibles hacen referencia al total de unidades que se encuentran disponibles en el inventario incluidas la sumatoria de las unidades dañadas, obsoletas y vencidas, y nunca es menor a la suma de estas últimas.

Para el caso específico del coque aplica las unidades deterioradas por efecto de las maniobras de carga y descarga como se desarrolla en el capítulo 10 y que permite determinar el impacto en cuanto a calidad del producto se refiere.

También es importante evaluar el efecto que tiene la movilización de grandes volúmenes, pues esto hace que una estrategia de transporte sea más eficiente que otra y por ende la cantidad de recorridos sea mayor o menor. Indicadores

como el factor de estiba, que compara la relación entre el volumen ocupado y el peso de una determinada carga, son de gran utilidad al momento de hacer este tipo de comparaciones los cuales se calculan para diferente modo así (Mora, 2014):

$$\text{Factor Estiba Marítimo} = \frac{1 \text{ Ton}}{1 \text{ Mt}^3} = \text{Relación } 1:1 = 1 \quad (5.2)$$

$$\text{Factor Estiba Terrestre} = \frac{1 \text{ Ton}}{2.5 \text{ Mt}^3} = \text{Relación } 1:2.5 = 0.4 \quad (5.3)$$

$$\text{Factor Estiba Ferroviario} = \frac{1 \text{ Ton}}{4 \text{ Mt}^3} = \text{Relación } 1:4 = 0.25 \quad (5.4)$$

$$\text{Factor Estiba Aéreo} = \frac{1 \text{ Ton}}{6 \text{ Mt}^3} = \text{Relación } 1:6 = 0.16 \quad (5.5)$$

Para el análisis de transporte multimodal el factor de estiba es fundamental para poder conocer las capacidades de cada modo de transporte y de esta manera compararlos entre sí (Ruiz, 2009). Es evidente que el factor de estiba marítimo es el que presenta la mejor relación y por lo tanto el que mayor eficiencia tiene en el movimiento de carga y se va disminuyendo progresivamente hasta el factor de estiba aéreo con el de menor relación. Si bien el factor de estiba aéreo no se considera en este trabajo es pertinente exponerlo y conocer su relación.

Un indicador indispensable en el desarrollo de este trabajo es el indicador de costo de transporte que pretende controlar el costo del transporte desde las plantas de producción hasta los puertos de exportación. Este indicador sirve para conocer el porcentaje de los gastos incurridos en el transporte como proporción del costo de producción o del valor total de la venta según la compañía lo determine en su política de control y de esta manera buscar medidas que minimicen el impacto que tiene el costo logístico sobre el producto (Mora, 2014). Se representa a continuación:

$$\text{Costo de Transporte} = \frac{\text{Costo del Transporte}}{\text{Costo de Producción o Valor Ventas}} \quad (5.6)$$

En la Tabla 1 se puede apreciar un resumen de los estudios referenciales mencionados en este capítulo con sus respectivos estudios para mayor comprensión.

Tabla 1. Resumen de estudios referenciales por autor

Autor	Título Trabajo	Tipo de Estudio	Año Publicación	Resumen	Metodología	Conclusiones
Donald Walters	Global Logistics and Distribution Planning	Libro	2003	La logística es tratada como estratégica y no como un plan de largo plazo. Amplia integración de la logística, crecimiento de las estrategias logísticas, tecnologías de comunicación mejoradas, importancia de las operaciones globales y el uso de nuevos principios de administración	Foro de discusión	NA
Juan José Bravo, et al.	Administración de Recursos de Distribución: Indicadores Para la Priorización en Transporte	Artículo Científico	2007	Se presenta un estudio sobre la administración de los recursos de distribución, con un enfoque de la gestión adecuada del despacho de mercancías, asumiendo recursos limitados	Descriptiva - Estudio de Caso	<p>_ Los resultados presentados constituyen un importante precedente para el apoyo de los procesos de toma de decisiones en las áreas de transporte de empresas nacionales e internacionales.</p> <p>_ El nivel de servicio de despachos debe ser alto, sin comprometer las operaciones de los clientes definiendo prioridades.</p> <p>_ Se deben tener indicadores que favorezcan la competitividad de la cadena</p>
Ronald H. Ballou	Logística: Administración de la Cadena de Suministro	Libro	2004	Se enfoca en la planeación, organización y control de las actividades de la logística y la cadena de suministro, como son, el transporte, inventarios, pedidos, compras, almacenaje, manejo de materiales, embalaje, estándares de servicio al cliente y producción.	Descriptiva	NA

<p>Anthony Beresford, et al.</p>	<p>Multimodal supply chains: iron ore from Australia to China</p>	<p>Artículo Científico</p>	<p>2011</p>	<p>Se analiza la cadena de suministro del mineral de hierro desde Australia hasta China. Utiliza un modelo de costeo como marco de referencia para embarcaciones de graneles. Se analizan las características el flujo de transporte de mineral de hierro contra los métodos tradicionales. Se consideran los transportes terrestres y férreos y combinaciones de estos. También se consideran factores locales que pueden afectar el modelo, como volúmenes, pesos, valor, distancias, tiempos de tránsito, costos y un calendario confiable.</p>	<p>Caso de Estudio</p>	<ul style="list-style-type: none"> _ Los volúmenes que se movilizan de mineral de hierro son grandes, con una proporción alta de peso a volumen y los embarques son continuos. _ La combinación de transporte terrestre y marítimo son los más apropiados para el transporte de mineral de hierro. _ Sin embargo cuando los corredores férreos son congestionados y las distancias no son muy grandes, el transporte terrestre es un efectivo sustituto. _ La ruta multimodal más competitiva, por lo menos en el corto y mediano plazo, se encontró que es la combinación Férrea-Marítima-Terrestre a través del puerto Bayuquan en China.
<p>Evija Belanina</p>	<p>Multimodal coal transportation in Indonesia</p>	<p>Tesis de Maestría</p>	<p>2013</p>	<p>Analiza el transporte multimodal de carbón en Indonesia a partir de un análisis de decisión multi criterio. Evalúa la importancia de factores cualitativos y cuantitativos para el diseño de cadenas de transporte. Determina un marco de referencia para determinar con que cantidades de carbón usar diferentes modos de transporte. Explora el potencial de las redes de transporte multimodal en Indonesia. Evalúa el potencial del transporte multimodal para el transporte de carbón en la región de Jambi.</p>	<p>MCDA (Multi Criteria Decision Analysis) - Análisis de Decisión Multi Criterio</p>	<ul style="list-style-type: none"> _ Mientras el transporte terrestre y por banda se ven más competitivos en cortas distancias, las vías férreas y fluviales tienen una mejor posición para largas distancias. _ La pobre infraestructura es un inconveniente para el transporte de carbón, ya que se requiere de una alta inversión para el uso de vías férreas y terrestres. _ El transporte terrestre es el más costoso en comparación con el de banda transportadora, férreo y fluvial. _ Los operadores de minas deben escoger la opción que se presenta configurada Terrestre-Fluvial para entrega en puerto de exportación.

Luis Gabriel Márquez	Optimización de una Red de Transporte Combinado Para la Exportación del Carbón del Interior de Colombia	Artículo Científico	2011	Estudia una red de transporte combinado en Colombia, con horizonte en el año 2019, con el propósito de identificar las rutas óptimas del carbón desde los distritos de producción localizados en el interior del país hasta los puertos marítimos de exportación.	Modelo de flujo de mínimo costo	<p>_ Los carbones de Boyacá y Cundinamarca deben ser transportados por nuevas infraestructuras ferroviarias modeladas hasta centros de transferencia de carga en Barrancabermeja y Bocas del Carare, donde se inicia una etapa fluvial hasta el puerto de Barranquilla.</p> <p>_ Los costos de transporte férreo y terrestre en comparación con el fluvial, son 1,53 y 3,34 veces más costosos respectivamente.</p>
América Ivonne Zamora Torres, et al.	El Transporte Internacional Como Factor de Competitividad en el Comercio Exterior	Artículo Científico	2013	Evaluación de la competitividad del transporte internacional considerando las variables más importantes que inciden en el sector transporte y el desempeño las economías respecto a dichas variables. Se estudia el transporte multimodal como principal aspecto.	Análisis de Componentes Principales	<p>_ Si bien todas las variables incluidas en el estudio influyen en la competitividad del transporte internacional, aquellas de mayor peso son la distancia y los costos en el transporte internacional.</p> <p>_ La infraestructura relativa al transporte internacional para el caso de Latinoamérica, aún no está del todo desarrollada y existen áreas de oportunidad donde es necesario trabajar.</p> <p>_ En cuanto al índice de competitividad del transporte internacional, los países más competitivos en esta materia son, en orden descendente, Hong Kong, Estados Unidos, Singapur, China, Suecia, España, Japón, Bélgica, Dinamarca y Canadá. Resaltando que los países de América Latina con mayores puntuaciones en este rubro son Brasil, seguido de Panamá, Chile, Costa Rica, México, Argentina y, por último, Venezuela.</p>

Samuel Odoyo, et al.	Determinants of Choice of Transportation Mode for White Petroleum by Oil Marketing Companies in Kenya	Artículo Científico	2014	Estudio descriptivo para establecer la elección del modo de transporte de Petróleo Blanco en Nairobi por parte de la OMC.	Descriptivo	<p>_Se concluye que el modo de transporte preferido por las empresas comercializadoras de petróleo en Nairobi es el oleoducto.</p> <p>_Se evidencian otros factores que hacen que el transporte férreo no sea atractivo a pesar de los atributos expuestos de mejor calidad en comparación con el terrestre.</p>
Cynthia Barnhart, et al.	Handbooks in Operations Research and Management Science	Libro	2007	Dedicado al transporte en todas su modalidades. Expone en cada capítulo las descripciones de diferentes autores.	Descriptivo	N.A.
Kees Verweij	Synchromodal Transport: Thinking in Hybrid Cooperative Networks	Artículo de Revista	2011	Habla sobre el transporte sincro-modal como alternativa de transporte multimodal.	Descriptivo	<p>_Transportistas deben trabajar unidos para alinear las operaciones logísticas de manera que conjuntamente tengan suficiente volumen para usar un servicio intermodal o crear uno nuevo.</p> <p>_El factor crítico de éxito para una red sincro-modal es que los agentes y transportistas intermodales cooperen de manera más estrecha y acuerden niveles de servicio a cambio de volúmenes de transporte.</p>

M. SyeadieSeifi, et al.	Multimodal Freight Transportation Planning: A Literature Review	Artículo Científico	2013	Presenta un resumen estructurado sobre la literatura de transporte multimodal desde el 2005 en adelante	Descriptivo	<p>_Se presentan los desarrollos y estudios recientes en la planeación de transporte multimodal desde el 2005.</p> <p>_Demuestra que mediante integración de decisiones de reposicionamiento en el diseño de la red, las soluciones son significativamente más eficientes en términos de costo y tiempo.</p> <p>_Se discuten las diferentes terminologías usadas: multimodal, intermodal, co-modal y sincro-modal</p>
Flodén Jonas	Modelling Intermodal Freight Transport	Tesis de Doctorado	2007	Desarrolla un modelo heurístico general a gran escala para el modelado estratégico de transporte intermodal por carretera y férreo.	Heurística	<p>_Desarrolla un modelo de transporte llamado "The Heuristics Intermodal Transport Model" o "HIT-model".</p> <p>_Concluye que el costo económico social y de los negocios se puede disminuir haciendo mayor uso del transporte intermodal terrestre-férreo y que también se mitiga el impacto ambiental.</p> <p>_El transporte multimodal casi siempre es económicamente competitivo si las distancias son suficientemente largas.</p>
Woodburn, et al., 2007	A decision support framework for intermodal transport policy	Artículo Científico	2011	Propone un marco de referencia soporte para determinar políticas de apoyo a la industria de y transporte intermodal.	Técnicas de Modelos de Investigación de Operaciones	<p>_Expone la importancia que ha estado teniendo el transporte multimodal debido a los problemas de congestión vial, ambientales y seguridad del tráfico.</p> <p>_Discute el interés por la investigación y políticas de transporte multimodal.</p>

Wang, et al., 2014	Performance indicators for planning intermodal barge transportation systems	Artículo Científico	2014	Hacen una revisión de los indicadores de desempeño encontrados en la literatura científica y calificarlos con respecto a la planificación táctica de los sistemas de transporte intermodal en barcazas. Incluyen políticas de gestión de ingresos.	Descriptivo	<p>_ Los indicadores de desempeño se usan ampliamente para evaluar modelos y métodos de solución de los sistemas de transporte.</p> <p>_ Proponen una primera clasificación y análisis de indicadores de desempeño para evaluar soluciones de planificación táctica en el transporte de carga.</p>
Janic, 2007	Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network	Artículo Científico	2007	Desarrolla un modelo para calcular redes comparables de transporte multimodal y terrestre de carga que combinen costos internos y externos.	Modelo de flujo	<p>_ El modelo demuestra que el costo total de las dos redes decrece más que proporcionalmente que el incremento de las distancias puerta a puerta.</p> <p>_ Los costos totales e internos en el caso intermodal decrecen más rápidamente al aumentar la distancia que en el caso terrestre.</p>
Mathisen & Moan, 2013	The academic literature on intermodal freight transport	Artículo Científico	2014	Examinan el desarrollo histórico de la investigación académica en el transporte intermodal de carga e identifican y clasifican la literatura de acuerdo a su relevancia.	Descriptivo	<p>_ Encuentran que después del año 2000 la frecuencia en publicaciones sobre transporte multimodal ha sido constante y creciente.</p> <p>_ Atribuyen este crecimiento al fuerte enfoque político sobre transporte multimodal como medio para reducir costos de transporte.</p> <p>_ Encuentran que mientras los estudios anteriores se centraban en el transporte férreo, actualmente estos estudios tienen un componente mayor sobre el transporte fluvial y terrestre.</p>

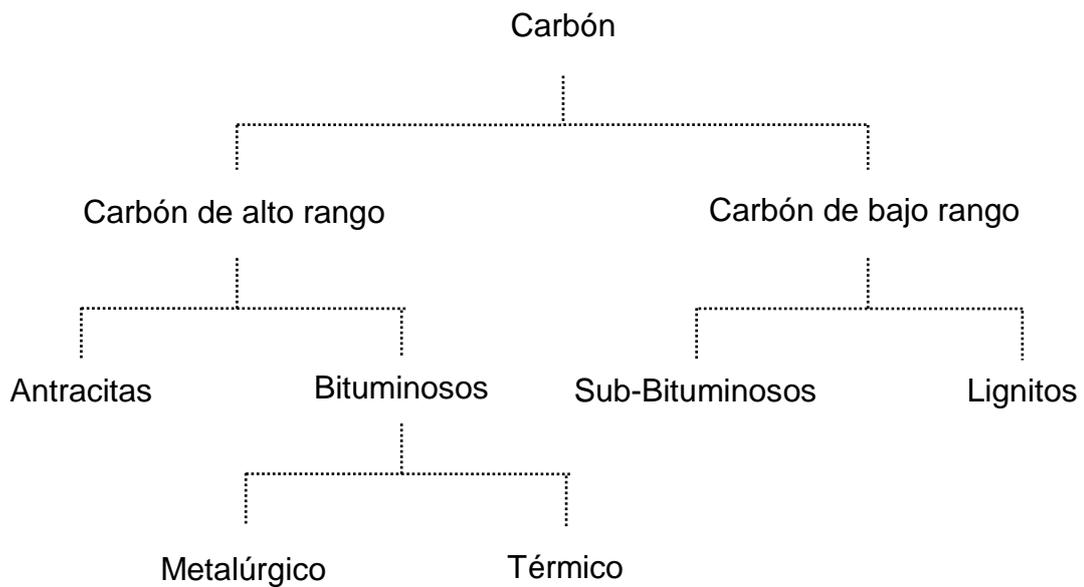
7.2. Carbón Metalúrgico

El carbón es una roca orgánica combustible, producto de la descomposición, sedimentación, compactación, endurecimiento y alteración química de plantas prehistóricas por procesos geológicos naturales. El grado de carbonificación o metamorfismo de un carbón depende de la presión, temperatura y tiempo a la cual fueron sometidos estos depósitos, dando como resultado varias clases de carbón (Speight, 2013). De igual manera y de acuerdo a la edad geológica de los mismos, los carbones se clasifican por rango o categoría, desde la turba o lignitos en el extremo inferior de la escala, pasando por los carbones sub-bituminosos y bituminosos hasta llegar a la antracita en el extremo superior. Estas categorías indican intervalos de características físicas y químicas que son útiles en la estimación del comportamiento del carbón en la minería, preparación y usos. Por lo general cuanto más alto sea el rango del carbón, mayor es su edad, contenido de carbono y poder calorífico, de igual modo menor será su contenido de hidrógeno y materia volátil (Atsushi Ishihara, 2004).

Las normas de la American Society for Testing Materials, ASTM por sus siglas en inglés y universalmente conocida en el mundo técnico, cuenta dentro de sus normas con la ASTM D-388 la cual fija un estándar en la clasificación de los carbones. La norma define como carbones de bajo rango aquellos cuyo poder calorífico bruto, base húmeda sea menor a 6,390 Kcal/Kg., en este rango están los carbones denominados sub-bituminosos y los lignitos. En los carbones de alto rango, con un poder calorífico mayor a 6,390 Kcal/Kg., se incluyen los carbones bituminosos y antracitas (ASTM, 1998), (Castro, 2011), (Leon & Erald, 2006).

El carbón metalúrgico se ubica dentro de los carbones de alto rango en la categoría de bituminosos y se define como el carbón que al someterse a tratamiento térmico en atmosfera inerte a una temperatura entre los 900 y 1,100°C, se funden, hinchán, se aglomeran y resolidifican, obteniéndose el coque metalúrgico. Casi todo el carbón coquizable que se produce en el mundo es transformado en coque para la producción de acero dentro de los altos hornos (World Coal Institute, 2009). Todos los carbones coquizables son aglomerantes pero no todos los carbones aglomerantes son coquizables. Las propiedades de los carbones coquizables dependen principalmente del rango del carbón como se muestra en la Figura 2 (Leon & Erald, 2006).

Figura 2. Clasificación de los carbones según su rango (World Coal Institute, 2009).



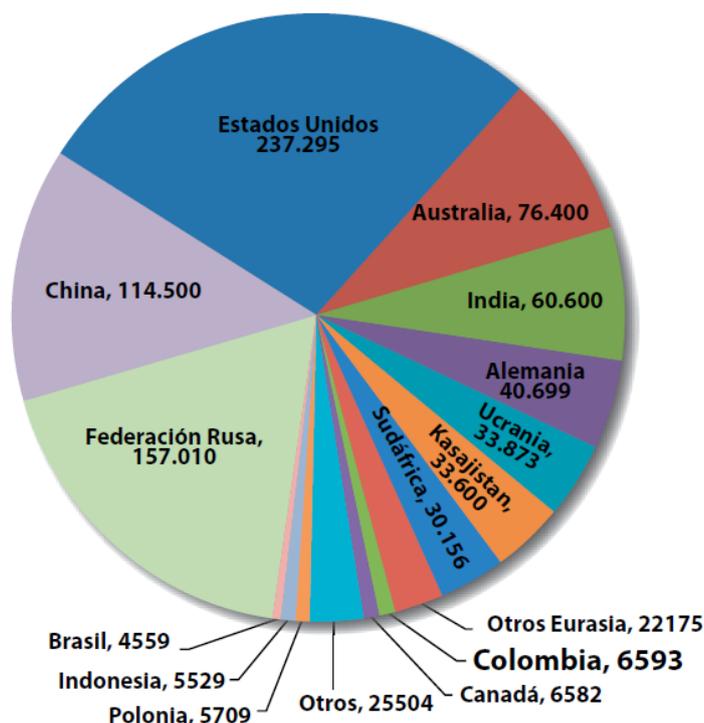
7.2.1. El Carbón en el Mundo

El carbón es el combustible fósil más abundante en la naturaleza con 860,938 millones de toneladas de reservas medidas en el 2010. Estados Unidos cuenta con la mayor cantidad de reservas con un 27.6% seguido de Rusia y China con el 18.2% y 13.3% respectivamente. Colombia cuenta con el 0.8% equivalentes a 6.593 millones de toneladas, ocupándose en el décimo lugar en el mundo (UPME, 2012).

Del total de reservas a nivel mundial, el 52.99% corresponden a carbones sub-bituminosos y lignitos y el 47.01% restante a carbones bituminosos y antracitas, dentro de los cuales se encuentra el carbón metalúrgico y donde Colombia es el único país en Sur América que cuenta con este tipo de reservas (UPME, 2012).

La Figura 3 muestra la distribución de las reservas medidas mundiales de carbón.

Figura 3. Reservas Medidas Mundiales de Carbón 2010

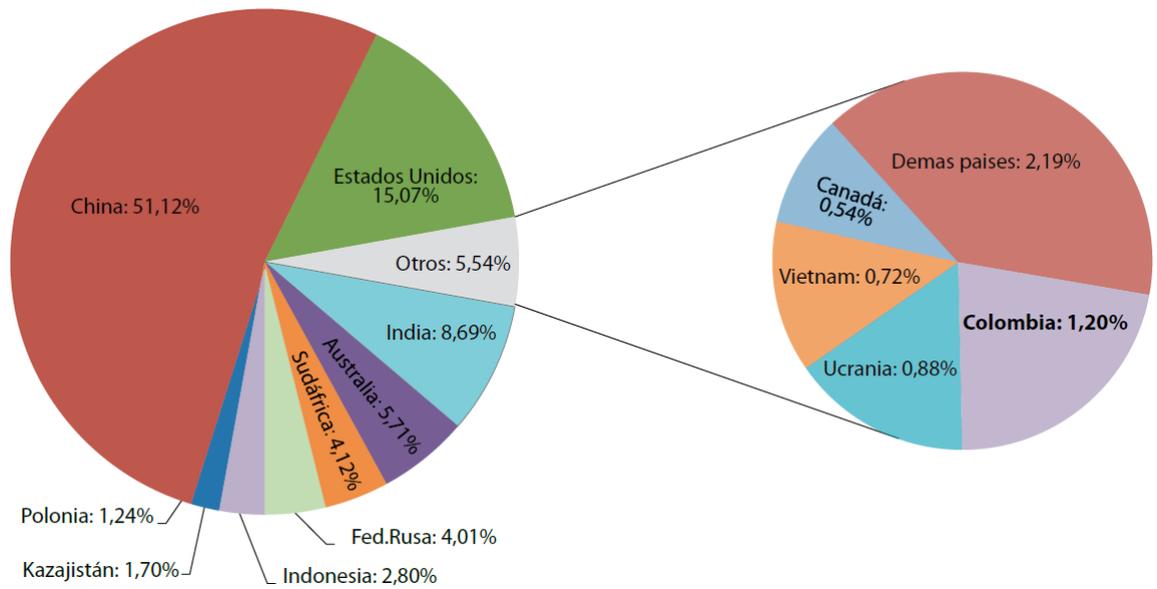


Fuente: tomado de (UPME, 2012)

La producción mundial de carbón en el 2010 fue de 6,185 millones de toneladas, un crecimiento del 121.23% en el periodo 1980-2010 y donde los principales productores son China con el 51.12% seguido de Estados Unidos con el 15.07%, India con el 8.69% y Australia con el 5.71%, como se puede apreciar en la Figura 4. Colombia participó con el 1.20% de ésta producción.

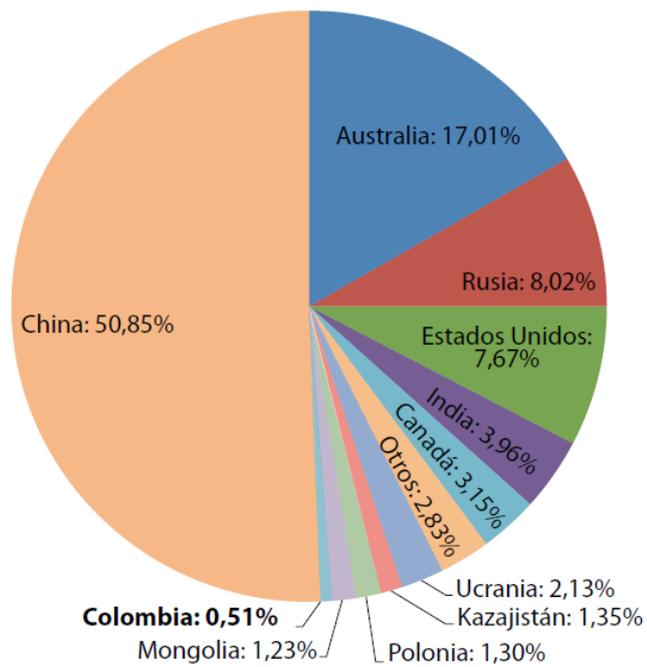
Del total de la producción mundial de carbón en el 2010, 894.5 millones de toneladas corresponde a carbón metalúrgico, concentrándose principalmente en China y Australia con el 67.86% como se puede apreciar en la Figura 5. Colombia participó con el 0.51% correspondientes a 4.57 millones de toneladas (UPME, 2012).

Figura 4. Producción Mundial de Carbón por País 2010



Fuente: tomado de (UPME, 2012)

Figura 5. Producción Mundial de Carbón Coquizable 2010



Fuente: tomado de (UPME, 2012)

Australia es el principal exportador de carbón metalúrgico con 154.6 millones de toneladas, correspondientes al 56.81% del total de toneladas exportadas de este tipo de carbón en el mundo. Lo siguen Estados Unidos y Canadá con el 18.7% y 10.1% respectivamente. El consumo de este tipo de carbón en el mundo va dirigido en un 98% a la producción de coque y el principal país consumidor es China con el 57.16% como se puede apreciar en la Tabla 2 (UPME, 2012). En el 2010 el consumo de este mineral estuvo cerca de 879.5 millones de toneladas.

Tabla 2. Principales Países Consumidores de Carbón Coquizable en 2010 (millones de toneladas)

País	Consumo	Participación %
China	438.57	57.16
India	54.56	7.45
Rusia	46.81	6.62
Japón	52.51	6.56
Ucrania	24.77	3.31
Corea	21.18	3.06
Estados Unidos	14.04	2.18
Alemania	15.47	1.72
Polonia	9.91	1.49
Brasil	9.15	1.42
Kazajistán	10.7	1.34

Fuente: tomado de (UPME, 2012)

7.2.2. Distritos Mineros Colombianos

En Colombia existen diferentes zonas de yacimientos de minerales los cuales para identificarlos y darles un mejor desarrollo se han establecido en distritos mineros. Estos distritos se basan en modernos planteamientos económicos donde se destaca el papel de las regiones geográficas como factor activo y determinante en los procesos de desarrollo económico ya que se afirma que un país puede ser competitivo en cuanto tenga concentraciones productivas regionales que se complementen y estén interrelacionadas (UPME, 2005).

Un distrito minero se puede definir como “un sistema productivo localizado donde se ubica un buen número de productores dedicados a manufacturar o explotar, en distintas fases, un producto homogéneo o un mineral o grupo de

minerales” (UPME, 2005), muy similar al concepto de “cluster” de Michael Porter donde el encadenamiento, aglomeración, externalidades, asociatividad, redes de trabajo, entre otras hacen parte de este concepto que busca una mejor competitividad en el mercado globalizado. El US Bureau of Mines, (1996), definió un distrito minero como: “Porción o área de terreno de un país, generalmente designada por un nombre, cuyos límites han sido descritos y dentro de la cual existen minerales que son extraídos siguiendo las reglas y regulaciones establecidas por los mineros locales. Para la definición de distrito minero, no existe límite de extensión territorial y sus linderos se pueden cambiar siempre y cuando, no se interfieran otros derechos”. En el caso Colombiano como son propiedad del Estado, las reglas y resoluciones son establecidas por el mismo Estado y no por los mineros locales (UPME, 2005).

De otra parte la minería se concibe como un potencial para ser un motor de desarrollo si se logra una adecuada legislación. De hecho la Comisión Económica para América Latina, CEPAL, ha planteado la posibilidad de idear un patrón de desarrollo sostenible y un proceso de industrialización a partir de la explotación de recursos naturales. Proceso que en el caso Colombiano se ha pretendido dar con la política del gobierno del presidente Santos con las cinco locomotoras que ha incluido en su Plan de Desarrollo 2010-2014 en el punto de crecimiento sostenible y competitividad, consideradas como los sectores que avanzarán a un ritmo mayor que el del resto de la economía y que pretenden disminuir la pobreza y la indigencia además de la tasa de desempleo a niveles mínimos (DNP, 2010).

La Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, en cabeza del Ministerio de Minas y Energía consientes del potencial de los recursos naturales como fuentes del desarrollo del país y en particular de los recursos mineros, adelantaron un estudio donde caracterizaron las zonas donde se desarrollan estas actividades y pueden ser catalogadas como distritos. Se definieron en total veintiséis distritos donde se encuentran minerales como oro, plata, carbón, arcillas, sal, ferroníquel, entre otros (UPME, 2005).

Para el caso de este estudio sólo se analizarán los distritos en los cuales existe presencia representativa de carbón y se profundizará en los que sean específicamente de carbón metalúrgico ya que es el tipo de carbón requerido para la producción de coque metalúrgico que es el objeto de estudio de este trabajo.

La Tabla 3 muestra cada distrito con los departamentos y los principales municipios involucrados y el tipo de carbón en los yacimientos, los cuales a la fecha del desarrollo de este trabajo se encuentran vigentes. Esto debido a la composición de las zonas carbonífera y el tipo de carbón que se encuentran en cada una de ellas.

Tabla 3. Distritos mineros, departamentos, municipios y tipo de carbón

Distrito	Municipios	Departamentos	Tipo de Carbón
Barrancas	Barrancas, Maicao, Hato Nuevo y Albania	La Guajira	Térmico
La Jagua	Becerril, El Paso, Codazzi, La Jagua y La Loma	Cesar	Térmico
Paz del Río	Belén, Corrales, Duitama, Firavitoba, Iza, Jericó, Monguí, Nobsa, Paipa, Paz de Río, Pesca, Santa Rosa de Viterbo, Socotá, Socha, Tasco, Tibasosa, Tópaga	Boyacá	Térmico / Metalúrgico
Zipaquirá	Cogua, Cucunubá, Guachetá, Lenguazaque, Samacá, Sutatausa, Tausa y Zipaquirá	Cundinamarca	Térmico / Metalúrgico
Amagá - Medellín	Amagá, Angelópolis, Fredonia, Itagüí, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota, Titiribí y Venecia	Antioquia	Térmico
N. Santander - El Zulia	Cúcuta, Chinácota, Chitagá, El Zulia, Los Patios, Pamplona, Salazar, San Cayetano, Sardinata, Tibú y Villa del Rosario	Norte de Santander	Térmico / Metalúrgico

Fuente: elaborado a partir de UPME, 2005.

7.2.3. Reservas y Producción de Carbón Coquizable en Colombia

Colombia es el país con mayores reservas de carbón en América Latina (UPME, 2012) y de estos países solo Colombia y Venezuela cuentan con reservas de carbón metalúrgico. Colombia con un potencial de reservas de más de 1,250 millones de toneladas y Venezuela que cuenta con pequeñas reservas de este mineral (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

Como se puede observar en la Tabla 3, en Colombia sólo tres distritos cuentan con reservas y yacimientos de carbón coquizable, sin embargo, la explotación de este tipo de carbón por sus reservas en el distrito N. Santander - El Zulia, es muy limitada, mientras que el potencial de reservas en los distritos de Paz del Río y Zipaquirá superan los 1.100 millones de toneladas entre medidas, indicadas e inferidas (Ministerio de Minas y Energía, 2010) (Tabla 4).

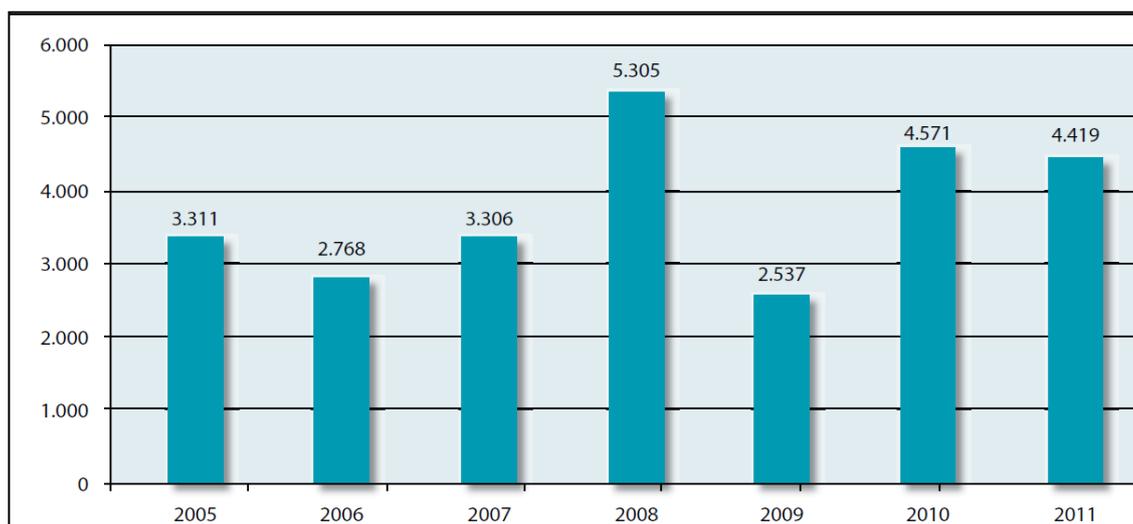
Tabla 4. Reservas de Carbón por Distrito (Millones de Toneladas)

Distrito	Medidas	Indicadas	Inferidas
Paz del Río	80	303	302
Zipaquirá	76	208	174
N. Santander – El Zulia	37	85	111
Total	193	596	587

Fuente: (Noriega, 2010)

Debido al gran potencial de reservas de carbón metalúrgico en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, grandes compañías exportadoras de carbón y coque se han asentado en aquellas zonas para explotar este mineral. La producción de carbón metalúrgico en Colombia ha venido teniendo un incremento importante en los últimos años pasando de 3,31 millones de toneladas en el 2005 a 4,41 millones en el 2011, un incremento del 33,44% como se puede apreciar en la Figura 6. Este aumento en la producción se ha dado en gran medida por el incremento en la producción de coque ya que más del 58% de la producción de carbón metalúrgico es utilizada para este fin y el 42% restante es para exportación y consumo (UPME, 2012). Las proyecciones de producción de carbón metalúrgico para el año 2019 son de más de 10 millones de toneladas debido al incremento esperado en la producción de coque y en la demanda internacional (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

Figura 6. Producción de Carbón Metalúrgico en Colombia (miles de toneladas)



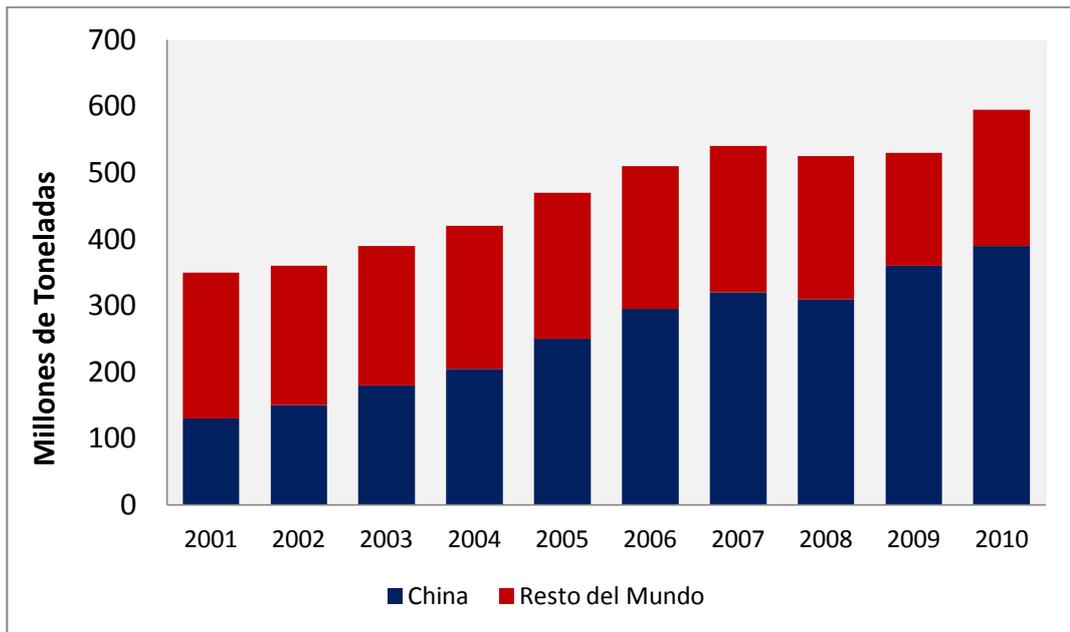
Fuente: (UPME, 2012)

7.3. Coque Metalúrgico

El coque metalúrgico es un mineral de alta resistencia mecánica producto de la coquización o carbonización de carbones metalúrgicos en hornos refractarios especiales a una temperatura entre 900 y 1100 °C en un ambiente de ausencia de oxígeno. El coque metalúrgico es usado en el proceso de fundición del mineral de hierro dentro del alto horno, actuando como combustible al suministrar la energía necesaria para la reacción y fusión del metal, como agente reductor para los óxidos del hierro y como soporte permeable de la presión de la carga y permitiendo el flujo de gases, escoria y metal fundido (Gujarat NRE Coke Limited, 2014) (Castro, 2011). Más del 95% del total del coque producido a nivel mundial se utiliza en los altos hornos para la producción de acero (Oxbow Carbon LLC, 2014). “Al estar involucrado en la cadena de producción del acero, el coque metalúrgico constituye un pilar en el desarrollo económico y en el mejoramiento de la calidad de vida de las naciones” (Castro, 2011).

La producción de coque mundial en el 2010 estuvo cercana a los 600 millones de toneladas, determinada principalmente por la producción de China con cerca de 350 millones de toneladas y los países miembros de la OECD con 122.6 millones como se observa en la Figura 7 (Resource-Net, 2014).

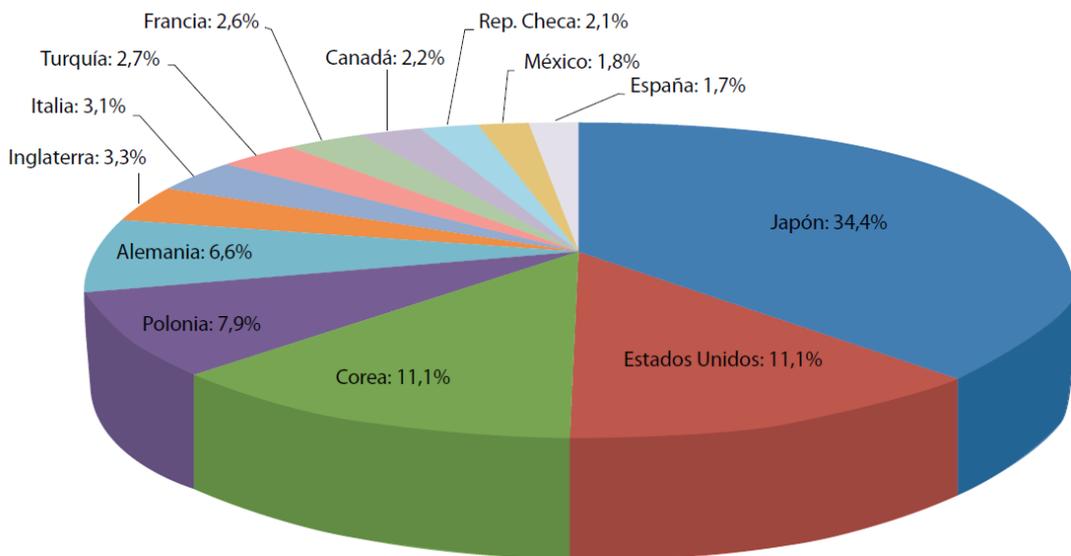
Figura 7. Producción Mundial de Coque



Fuente: elaboración propia a partir de (Resource-Net, 2014)

De la producción del resto del mundo en el 2010, 122.6 millones de toneladas corresponden a la producción de los países miembros de la OECD con un incremento anual del 17%, principalmente determinada por la producción de Japón con 42.21 millones de toneladas como se puede observar en la Figura 8 (UPME, 2012).

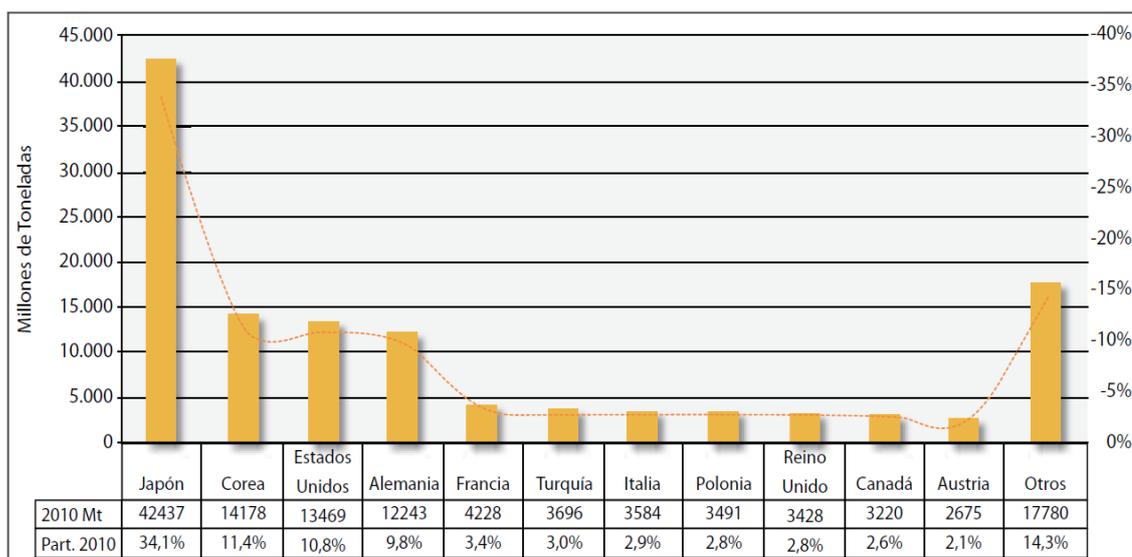
Figura 8. Participación Producción de Coque Países OECD 2010.



Fuente: tomado de (UPME, 2012)

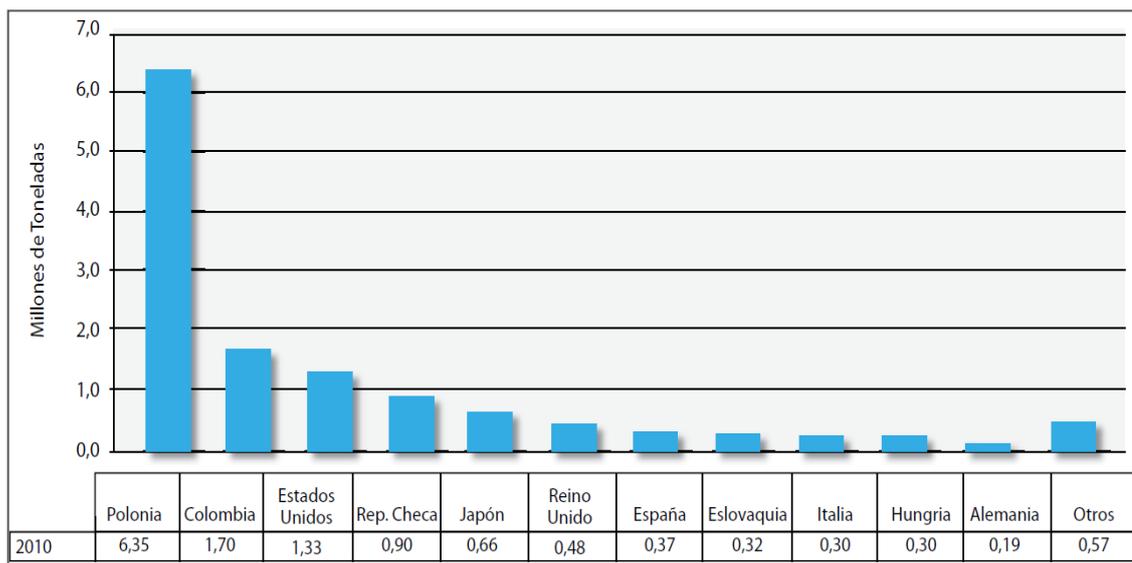
El consumo de coque de los países miembros de la OECD en el 2010 fue de 124.43 millones, jalonada por Japón como su mayor consumidor con 42.4 millones de toneladas como se expone en la Figura 9. De igual manera el volumen de coque exportado por los países miembros de la organización fue de 11.7 millones de toneladas en el mismo año, determinado por Polonia como el mayor exportador con 6.35 millones, Colombia en el mismo periodo exportó 1.7 millones de toneladas como se observa en la Figura 10. Finalmente las importaciones de coque de estos países en el año 2010 alcanzó los 13.85 millones de toneladas, una variación anual de 46.44% respecto al 2009 y Alemania como el principal importador con 4.31 millones de toneladas como se observa en la Figura 11.

Figura 9. Consumo de Coque Países OECD 2010.



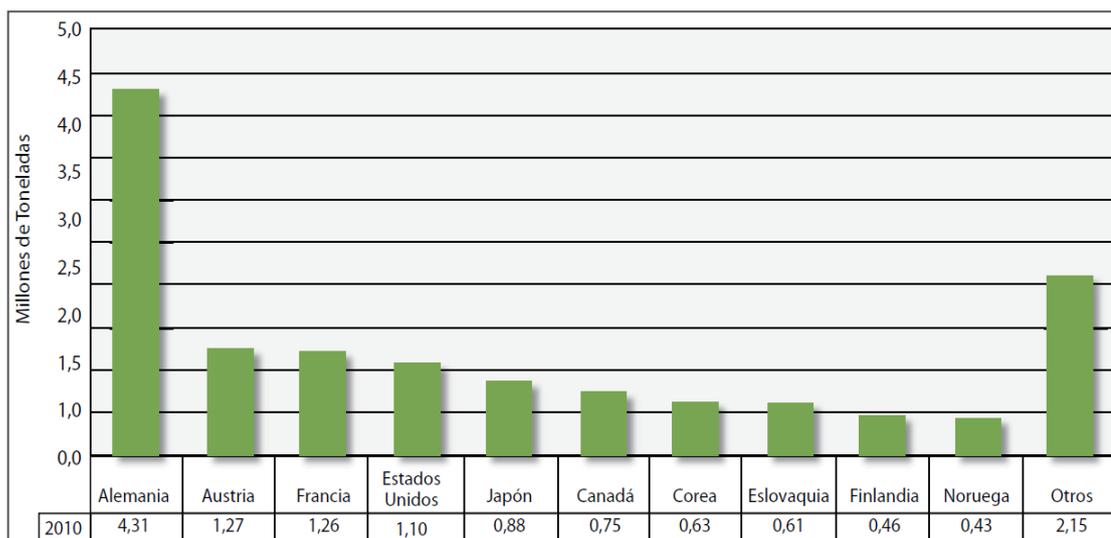
Fuente: tomado de (UPME, 2012)

Figura 10. Exportaciones de Coque Países OECD y Colombia 2010.



Fuente: tomado de (UPME, 2012)

Figura 11. Importaciones de Coque Países OECD 2010.



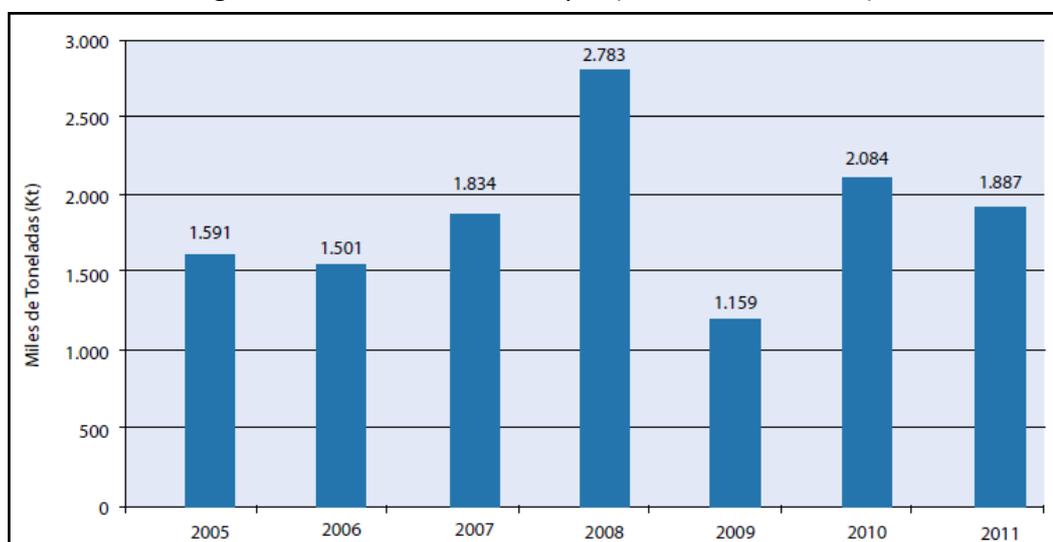
Fuente: tomado de (UPME, 2012)

7.3.1. Producción de Coque Metalúrgico en Colombia

Al igual que la producción de carbón metalúrgico, la producción de coque en Colombia se ha venido incrementando en los últimos años pasando de 1,6 millones de toneladas en el 2005 a 1,9 millones en el 2011, un incremento del 14,88%. Sin embargo en el 2008 se alcanzó una producción de 2,8 millones de toneladas lo que supone que la disponibilidad de hornos de coquización ya está instalada y alcanzar y mantener los niveles de producción no es difícil de lograr (UPME, 2012). La Figura 12 muestra la evolución de la producción de coque desde el año 2005.

El incremento en la producción de coque se ha dado principalmente a la creciente demanda de este producto en el mercado internacional ya que hace parte fundamental en la cadena del acero pues después del mineral de hierro, es la principal materia prima en esta industria y aun no se encuentra un sustituto (María-Tomé, 2012). En el 2009 se ve una importante disminución en la producción del mineral debido a la crisis financiera y económica mundial que tuvo sus inicios en el año 2008 y que se prolongó durante todo el año 2009 principalmente en los Estados Unidos y que impacto la industria automotriz uno de los principales consumidores de acero y por ende la industria siderúrgica y que significo una menor demanda de coque metalúrgico en este periodo.

Figura 12. Producción de Coque (miles de toneladas)

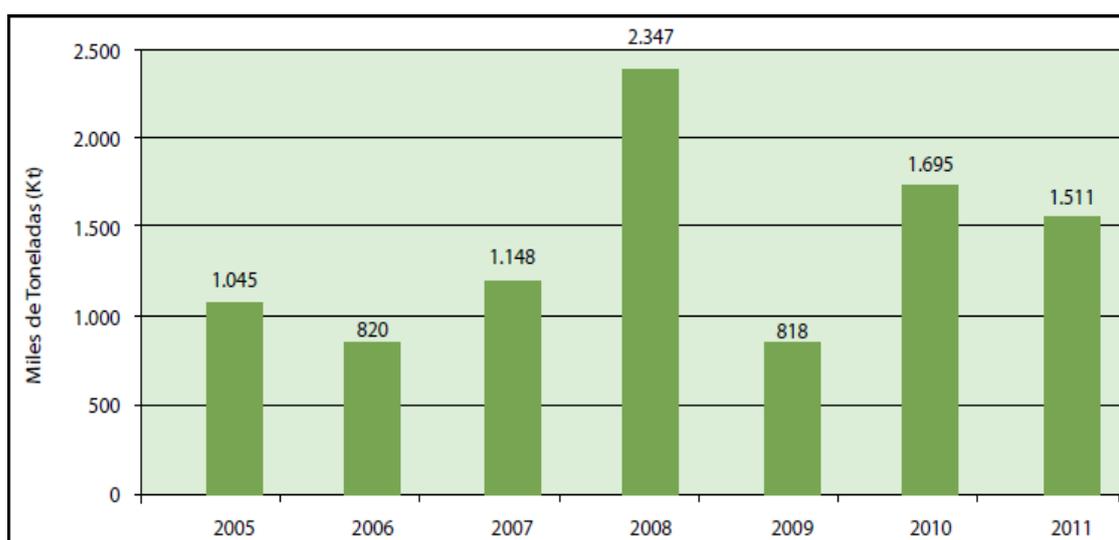


Fuente: (UPME, 2012)

Puesto que los yacimientos y explotación de carbón metalúrgico están localizados en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá y en menor proporción los Santanderes, las plantas de producción de coque se han asentado en estos departamentos donde también se ha visto un continuo crecimiento en la construcción de hornos de coquización (UPME, 2012), lo que indica que existe un crecimiento importante de esta industria y que requerirá de métodos eficaces de distribución de los productos desde las plantas de producción en el interior del país hacia los puertos de exportación.

Del total de la producción del 2011 presentada en la Figura 12., las exportaciones ascienden a 1,5 millones de toneladas, como se muestra en la Figura 13, lo que representa el 78% del total producido y que demuestra la importancia de este producto en el mercado internacional, la diferencia restante es usado para consumo interno principalmente en la producción de acero en Acerías Paz de Río (UPME, 2012). Del total exportado en este mismo año, 1.17 millones de toneladas, fueron aportadas por la región cundiboyacense y representan el 73% del total exportado en este periodo. Las exportaciones de la región de los Santanderes fueron dirigidas en principal medida hacia el mercado Venezolano.

Figura 13. Exportaciones de Coque (miles de toneladas)



Fuente: (UPME, 2012)

7.3.2. Calidad del Coque Metalúrgico

La calidad del coque metalúrgico depende principalmente de la calidad de los carbones que se utilicen en el proceso de coquización, una combinación de carbones metalúrgicos de alta calidad garantizan un coque metalúrgico de iguales características (Castro, 2011) (Leon & Erald, 2006). Sin embargo y posterior al proceso de coquización existen agentes externos que pueden alterar la calidad del coque como lo es la humedad y el proceso de manejo que puede alterar su granulometría y por ende su resistencia mecánica.

Luego del proceso de coquización, la torta resultante aglomerada de coque es extraída de los hornos de coquización ya sea por medio de equipos mecánicos o manualmente para luego ser llevada al proceso de cribado por tamaños. En este proceso el coque es clasificado de acuerdo a su tamaño para cumplir las características exigidas en el mercado internacional para el proceso requerido dentro del alto horno.

El coque que se comercializa en el mercado internacional como coque metalúrgico o “Met Coke” (en inglés) de primera calidad tiene unas características típicas especiales que se presentan en la Tabla 5 donde se puede apreciar el parámetro de calidad, el rango o medida exigida y la norma/estándar por la cual se rige (Castro, 2011). La calidad del Coque Metalúrgico dentro del mercado internacional se mide principalmente por los índices CRI, CSR, MICUM, Mean Size o Granulometría, Humedad, Azufre y Carbono Fijo los cuales están bajo las normas y estándares de la ASTM International (ASTM International, 2004).

Tabla 5. Calidad típica del coque metalúrgico en el mercado internacional

CALIDAD TÍPICA DEL COQUE METALURGICO		
Parámetro	Medida	Norma/Standard
CRI	25% - 30%	ASTM D-5341-99 R-10
CSR	58% - 65%	ASTM D-5341-99 R-10
Micum 40	76% - 85%	ASTM-D3402-93 R-08/ISO-556: 1980
Mean Size / Granulometría	40 – 100 mm	ASTM-D293-93 R-99/ISO 728: 1995
Cenizas	< 11,5%	ASTM D-3174-11
Materia Volátil	< 1,5%	ASTM D-3175-11
Azufre	< 0,7%	ASTM D4239-12
Humedad	< 6%	ASTM D-3302-10

Fuente: Elaboración propia a partir de Castro, 2011, C.I. Carbocoque S.A., 2013 y ASTM International, 2004.

Para efectos de este trabajo sólo se tendrán en consideración los parámetros de Micum 40 que hace referencia a la resistencia mecánica del coque y el Mean Size o Granulometría que se refiere al tamaño del coque.

Como se puede apreciar en la Tabla 5, estos índices deberán estar entre 76% y 85% para el Micum 40 y entre 40 mm y 100 mm en el caso de la Granulometría de tal manera que puedan ser ofertados en el mercado internacional a un precio más alto que los demás productos.

Adicionalmente los acuerdos comerciales que se pactan para la venta del coque metalúrgico tienen requerimientos mínimos que deben ser cumplidos por el vendedor y que de no cumplirse se ven sujetos a penalidades de acuerdo a la variación que se presente como menor grado en la calidad. Un acuerdo típico exige que la desviación máxima que se puede tener en cuanto a la Granulometría no puede exceder el 5% de menos de 40 mm y para el caso del Micum 40 no puede ser inferior al 82%. En caso de no cumplir con los requerimientos el porcentaje por exceso o defecto a los límites establecidos respectivamente, es descontado del precio de venta ya sea aplicando un porcentaje acordado, un precio por tonelada o inclusive puede ser objeto de rechazo por parte del cliente. Para el caso de la Granulometría generalmente se aplica una penalidad del 1% del precio de venta FOB pactado por tonelada por cada 1% o su proporcional por encima del 5% máximo establecido y para el caso del Micum 40 se descuenta el 1% del precio de venta FOB pactado por tonelada por cada punto porcentual menor al 82% (C.I. Carbocoque S.A., 2013).

Los parámetros restantes se considerarán estables y no serán tenidos en cuenta en el desarrollo de este trabajo dado que éstos dependen de la calidad de la mezcla de carbones utilizados en la producción de coque la cual se considera óptima y como se mencionó en el Capítulo 1 son carbones metalúrgicos que tienen características especiales para dar los resultados esperados. Adicionalmente estos parámetros no se ven afectados por el transporte del producto ya que son propiedades intrínsecas del mismo y por ende no es preciso considerarlos.

Mientras tanto los índices Micum 40 y de Granulometría pueden ser afectados y alterados en la medida en que el manejo del producto en el transporte, cargue y descargue y los patios de acopio y almacenamiento no se haga de manera adecuada ya que puede sufrir impactos fuertes que resulten en una disminución de su granulometría y por ende en un menor porcentaje de Micum 40 (C.I. Carbocoque S.A., 2013) (Pérez Montoya, 2013).

8. Caracterización de la Cadena Logística del Coque en Colombia

Este capítulo tiene como propósito dar respuesta a los objetivos específicos 1,2 y 4 planteados en el presente trabajo.

En primer lugar se realiza la caracterización de la cadena logística del coque en Colombia a través de la descripción de las operaciones que se realizan para la distribución del producto a los puertos de exportación con la ayuda gráfica de un mapa de flujo de valor.

Seguidamente se describe cómo está configurado el transporte de coque en Colombia, donde se evidencia que el transporte de este material se realiza de manera terrestre en su totalidad, para luego comprender las modalidades de transporte y equipos utilizados para su distribución, hasta determinar cómo está configurada la red vial nacional y las rutas que atienden la movilización del coque metalúrgico hacia el puerto de Barranquilla que como se indica posteriormente es el principal puerto de exportación de este producto.

Lo anterior permite dar cumplimiento al primer objetivo planteado al lograr caracterizar la cadena logística del coque metalúrgico en Colombia.

Consecuentemente se evalúan los costos de la estrategia de distribución terrestre, resumiéndose en los fletes que pagan las empresas exportadoras por el transporte de sus productos desde las plantas de producción hasta los puertos de exportación a las empresas de transporte de carga terrestre ya que las primeras no cuentan con flotas de vehículos de carga para el transporte de sus productos y requieren de los transportadores que prestan este servicio, permitiendo conocer el impacto de esta estrategia de distribución en el costo del producto y resolviendo el segundo objetivo.

Luego se evalúan las posibles estrategias de distribución que pueden existir para el transporte del coque metalúrgico al puerto de Barranquilla como principal puerto exportador.

Se estudia la cuenca del Río Magdalena, el canal navegable, los puertos fluviales a lo largo del Río y las diferentes composiciones de los convoyes que navegan por el este como principal arteria fluvial del territorio colombiano y el cual desemboca en el mar Caribe en la ciudad de Barranquilla. Con este estudio se plantea la primera alternativa multimodal Terrestre – Fluvial y se analizan los costos de la estrategia propuesta.

También se estudian las vías férreas potenciales para el transporte del coque metalúrgico pasando por el ferrocarril del Carare, el ferrocarril Central hasta la concesión FENOCO. De igual manera con este estudio se plantea la segunda alternativa multimodal Terrestre – Férrea y se analizan los costos de la estrategia.

Finalmente se plantea una tercera alternativa multimodal Terrestre – Férrea – Fluvial, combinando los estudios mencionados y se determina el costo de esta estrategia.

Esto permite resolver el cuarto objetivo del trabajo, al determinar estrategias potenciales que permitan transportar el coque metalúrgico desde el interior del país para su exportación al mercado internacional.

8.1. Cadena Logística del Coque

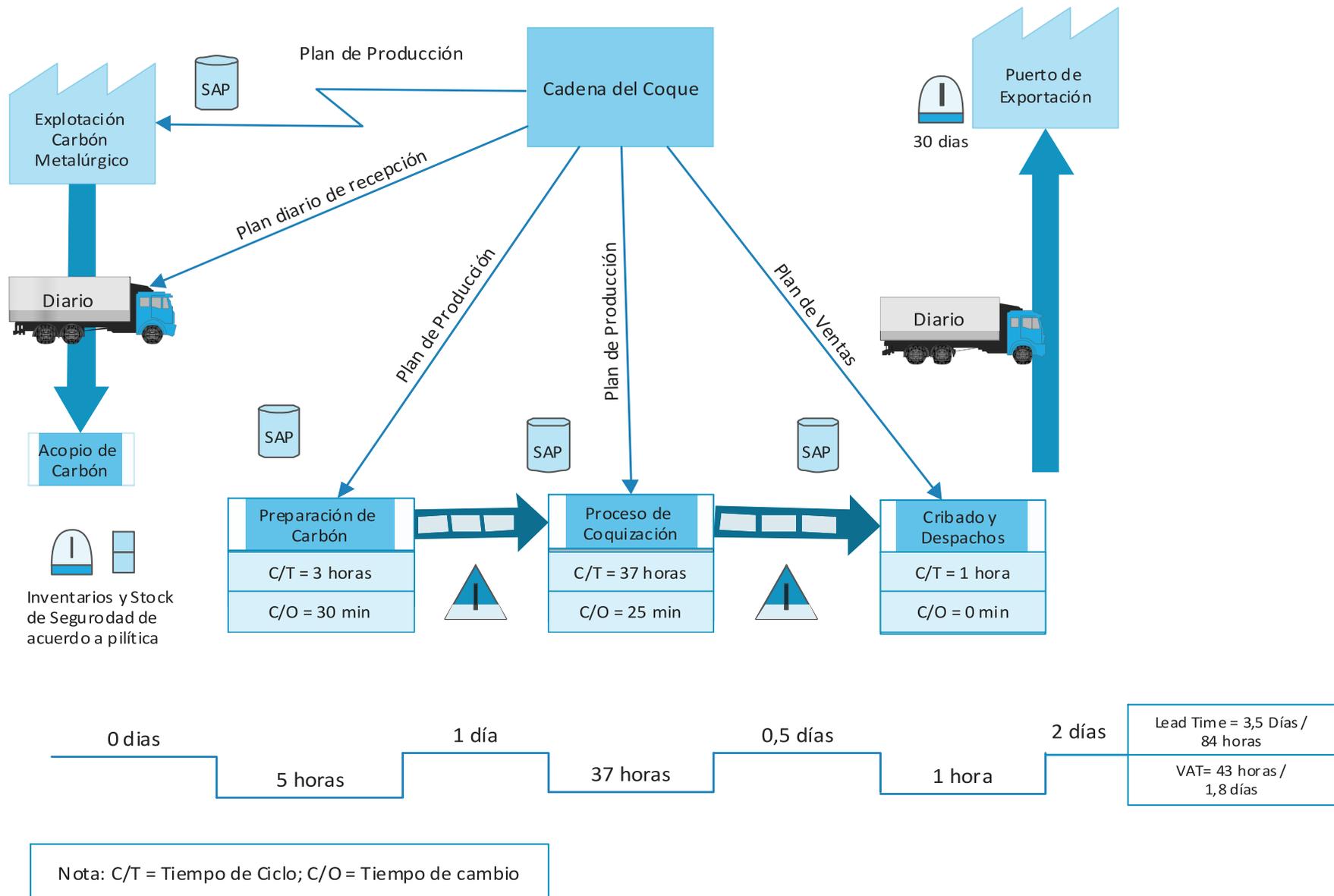
Como se presentó en el capítulo 7, numeral 7.3.1, las exportaciones de coque colombiano se han incrementado en más de un 84% en los últimos 6 años,

pasando de 0.82 millones de toneladas en el 2006 a 1,51 millones en el 2011 y logrando la exportación más alta en el 2008 con 2.34 millones de toneladas, lo que demuestra la importancia que tiene la cadena logística y el desarrollo de estrategias de distribución para este producto (UPME, 2012).

La cadena logística del coque comienza con la explotación del carbón metalúrgico el cual debe ser llevado desde las minas de producción hasta los centros de beneficio en donde se selecciona el carbón de acuerdo a su calidad y respectivas características y se realizan las mezclas para ser introducidas a los hornos de coquización. Luego de este proceso el coque es cribado o seleccionado por tamaños de acuerdo al mercado - como se mencionó en el capítulo 7, numeral 7.3.2, el coque metalúrgico es el coque que se encuentra en el tamaño 40 mm y 100 mm y tiene las características de calidad presentadas en la Tabla 4 - posteriormente el coque es embarcado en tractomulas (Figura 15) hacia los puertos de exportación donde se almacena y se carga a los buques para su destino final.

Con la ayuda de la herramienta del Mapa del Flujo de Valor (Value Stream Mapping-VSM) se puede apreciar gráficamente la cadena de manera más detallada (Figura 14).

Figura 14. Cadena del Coque – Value Stream Mapping para 1 tonelada de coque puesta en puerto de exportación.



Fuente: elaboración propia a partir de información recolectada de Womack, 2012, C.I. Carbocoque S.A., 2013.

8.2. Transporte de Coque en Colombia

Actualmente el 100% del transporte del coque metalúrgico que se produce en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca hacia los puertos de exportación se hace vía terrestre usando tractomulas de 6 ejes con capacidad de transportar 35 toneladas de producto (UPTC-UNALMED-UNINORTE, 2008), desde el cargue en las plantas de producción hasta el descargue en los patios de acopio en los puertos, en las rutas Boyacá – Tunja – Barbosa – Bucaramanga – Santa Marta/Barranquilla y Lenguazaque – Bucaramanga – Santa Marta/Barranquilla (ConSORICO Silva Carreño & Asociados S.A. - Hugo Millán, 2004).

Según lo menciona la unión temporal UPTC-UNALMED-UNINORTE, 2008, debido a la alta preponderancia del transporte terrestre y la gran accesibilidad, este medio de movilización es el predominante, sin embargo presenta rutas y velocidades limitadas debido a la configuración topográfica del terreno y su eficiencia es baja ya que la capacidad de carga por vehículo es restringida lo que incrementa los costos operativos.

Los precios de los fletes los cuales los define la unión temporal UPTC-UNALMED-UNINORTE, 2008, como: “los costos que tienen que ser pagados a los transportadores, por el servicio de transportar un bien o servicio”, desde las plantas de producción en Cundinamarca y Boyacá hasta los puertos de exportación, son pactados entre productores y transportadores mediante un acuerdo entre las partes a unas tarifas convenidas previamente y en la mayoría de casos establecidas por los primeros de acuerdo a la oferta y la demanda, pero se calculan en un promedio de 114.63 \$/Ton-km, valor que contempla todos los costos asociados directos e indirectos además de tener en cuenta las condiciones viales del territorio colombiano y que implica tiempos de recorrido y de demoras en carretera (Márquez, 2011). Si bien este precio que menciona Márquez, 2011, en su estudio de optimización esta un año antes de los precios analizados en este trabajo, es pertinente mencionar que el transporte de carga terrestre en Colombia durante los últimos años ha sido un negocio particularmente informal, tradicional y en ocasiones considerado como obsoleto, donde los precios de los fletes pueden mantenerse en niveles estables por periodos superiores a dos años e inclusive disminuir de un año a otro como se podrá evidenciar más adelante (Ministerio de Transporte, 2014). Lo anterior permite interpretar que el costo que por kilómetro

por tonelada de transporte terrestre expuesto por Márquez, 2011, puede ser usado dentro del análisis como un costo vigente.

Sin embargo y debido al alto impacto que el costo de los fletes tiene dentro de este trabajo, el costo del flete terrestre tendrá una evaluación aparte para determinar el valor real actualizado y con el cual se realizarán todos los cálculos dentro del estudio.

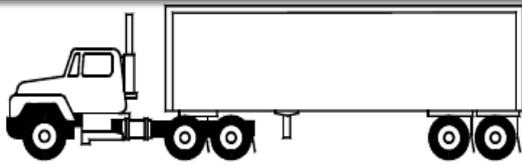
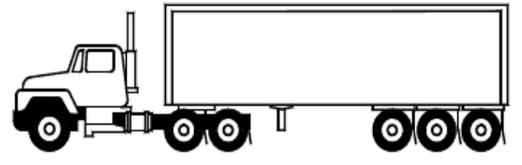
De otra parte INCOPLAN en el 2011 concluye que las condiciones competitivas del coque del interior del país se ven comprometidas debido a que no se dispone de una cadena óptima para el transporte de este producto hacia los puertos de exportación.

8.2.1. Modalidades y Equipos

Si bien el medio de movilización predominante para el coque metalúrgico en Colombia es el terrestre, existen otros medios que pueden ser potencialmente utilizados para este fin y que podrían traer un beneficio no solo en los costos logísticos sino también en las capacidades de carga y tiempos de entrega más eficientes.

Debido a la alta preponderancia del transporte terrestre y a la falta de disponibilidad de los otros medios, los equipos más utilizados para transportar el coque metalúrgico desde los centros de producción a los puertos de exportación en Colombia son los tracto camiones o tractomulas con una configuración que está reglamentada por el Ministerio de Transporte Colombiano y se presenta en la Figura 15 (UPTC-UNALMED-UNINORTE, 2008).

Figura 15. Configuración Vehículos de Carga

CONFIGURACIÓN	ESQUEMA DEL VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN
C3S2		Tracto camión de tres ejes, con semirremolque De dos ejes.
C3S3		Tracto camión de tres ejes, con semirremolque De tres ejes.

Fuente: Resolución No. 4100 de 2004, Ministerio de Transporte

En la Tabla 6 se pueden observar las dimensiones y pesos permitidos por el ministerio de transporte colombiano y que se encuentran vigentes desde el 2004 mediante la resolución 4100 del mismo año para esta configuración de vehículos de tal manera que puedan operar normalmente en la red vial nacional.

Tabla 6. Dimensiones y Peso Bruto Vehicular Vehículos Configuración C3S2 y C3S3.

Configuración	PBV máximo, kg	Ancho máximo, m	Altura máxima, m	Longitud máxima, m
C3S2	48,000	2.60	4.40	18.50
C3S3	52,000	2.60	4.40	18.50

Fuente: Resolución No. 4100 de 2004 (Ministerio de Transporte, 2004)

Las capacidades de carga netas de transporte de acuerdo a las configuraciones de los vehículos, se encuentran entre 31 y 35 toneladas de producto, lo que para un mercado que maneja grandes volúmenes es ineficiente y requiere de una alta utilización de estos equipos (Beresford, et al., 2011).

Otras modalidades menos utilizadas por la disponibilidad de equipos e infraestructura son a través de trenes por vía férrea y de barcasas por vía fluvial y que serán analizadas por separado en el numeral 8.3 del presente capítulo.

8.2.2. Red Vial

En Colombia la red de carreteras para el transporte y movilización de carga hace parte de la red vial nacional la cual está a cargo del Instituto Nacional de Vías, INVIAS, y su mantenimiento le corresponde al instituto o a las concesiones a las cuales se les haya asignado la ruta.

Si bien la mayor parte de las vías que comunican al centro del país con los puertos se encuentran pavimentadas, en el Reporte de Competitividad Global 2013-2014 del Foro Económico Mundial, FEM, se pueden apreciar las desventajas competitivas en cuanto al atraso y la calidad de la infraestructura colombiana, siendo uno de los pilares con menor puntaje alcanzando solo 3.5 puntos de 7 posibles y lo cual se hace evidente al ser uno de los factores de mayor inconveniente al momento de realizar negocios en el país encontrándose en segundo lugar solo después de la corrupción.

En la Tabla 7 se pueden observar las posiciones que ocupa Colombia sobre 148 economías mundiales en el Índice Global de Competitividad del FEM en cuanto a Infraestructura se refiere.

Tabla 7. Posición de Colombia en el Índice Global de Competitividad del Foro Económico Mundial FEM – Segundo pilar: Infraestructura

Variable	Calificación	Puesto
Calidad de la infraestructura	3.3	117
Calidad de las carreteras	2.6	130
Calidad de la infraestructura ferroviaria	1.5	113
Calidad de la infraestructura portuaria	3.5	110
Calidad de la infraestructura del transporte aéreo	4	96
Sillas disponibles en vuelos km/semana, millones *	527.6	39
Calidad de la oferta eléctrica	5.2	63
Líneas telefonía móvil suscripciones/100 pop.*	103.2	87
Líneas telefónicas fijas líneas/pop.*	13.2	84

Calificación en escala de 1 a 7 a menos que estén marcados con asterisco (*)

Fuente: (World Economic Forum, 2013)

De otra parte la infraestructura vial que soporta las rutas para el transporte de carbón y coque como se cita en la Tabla 8 y como se expone en los estudios de

UPTC-UNALMED-UNINORTE, (2008), y Cormagdalena, (2013), es precaria e impide movilizar grandes volúmenes. Más aún, es visto como un cuello de botella para las empresas al ver limitadas sus capacidades de distribución y por ende su posibilidad de incrementar su producción y crecimiento (CRU Strategies, 2007). Inclusive se expone que con los planes de desarrollo y niveles de producción que se esperan del plan de desarrollo del presidente Juan Manuel Santos dentro de los cuales se encuentra la denominada locomotora minera, la capacidad de la red vial que comunica el centro del país con los puertos del Atlántico no es suficiente para transportar dichos volúmenes (Márquez, 2011).

Tabla 8. Comparación de Rutas entre Lenguazaque y Barranquilla

Ruta	Longitud km	Observaciones
Lenguazaque Ubaté – Bogotá- Puerto Salgar- (Santa Marta, Barranquilla, Cartagena)	1,091	Es la ruta más larga. Podría verse favorecida con el proyecto Tobiagrande – Puerto Salgar. Actualmente tiene restricciones principalmente en el tramo Guaduas – Villeta.
Lenguazaque – Barbosa - Landázuri – Puerto Araujo – (Santa Marta, Barranquilla, Cartagena)	904	Esta ruta es la de mejores condiciones topográficas. Se ve favorecida con la pavimentación de la carretera Vélez – Landázuri y Landázuri – Puerto Araujo
Lenguazaque - Barbosa - Bucaramanga – (Santa Marta, Barranquilla, Cartagena)	894	Esta ruta es la más utilizada para los despachos del carbón, con sectores críticos como Pescadero entre San Gil y Bucaramanga. El mejoramiento de la Ruta del Sol, será complementaria a partir de San Alberto.

Fuente: (UPTC-UNALMED-UNINORTE, 2008) (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

Sin embargo el gobierno colombiano en los últimos años viene promoviendo políticas encaminadas al desarrollo de la infraestructura del país a través de alianzas publico privadas sólidas donde se destacan obras de infraestructura vial, férrea, fluvial y portuaria para promover la formación de corredores logísticos para los sectores productivos, mineros, turísticos, etc. (DNP, 2010). En estas obras se destacan cerca de 42 proyectos de infraestructura vial donde se encuentra como uno de los más importantes la Ruta del Sol, 7 proyectos de infraestructura férrea donde se encuentran el ferrocarril del Pacifico, el ferrocarril del Carare y la ruta Bogotá-Belencito, y cerca de 10 proyectos portuarios y fluviales donde se

encuentra la recuperación del canal navegable del Río Magdalena (Agencia Nacional de Infraestructura, 2013).

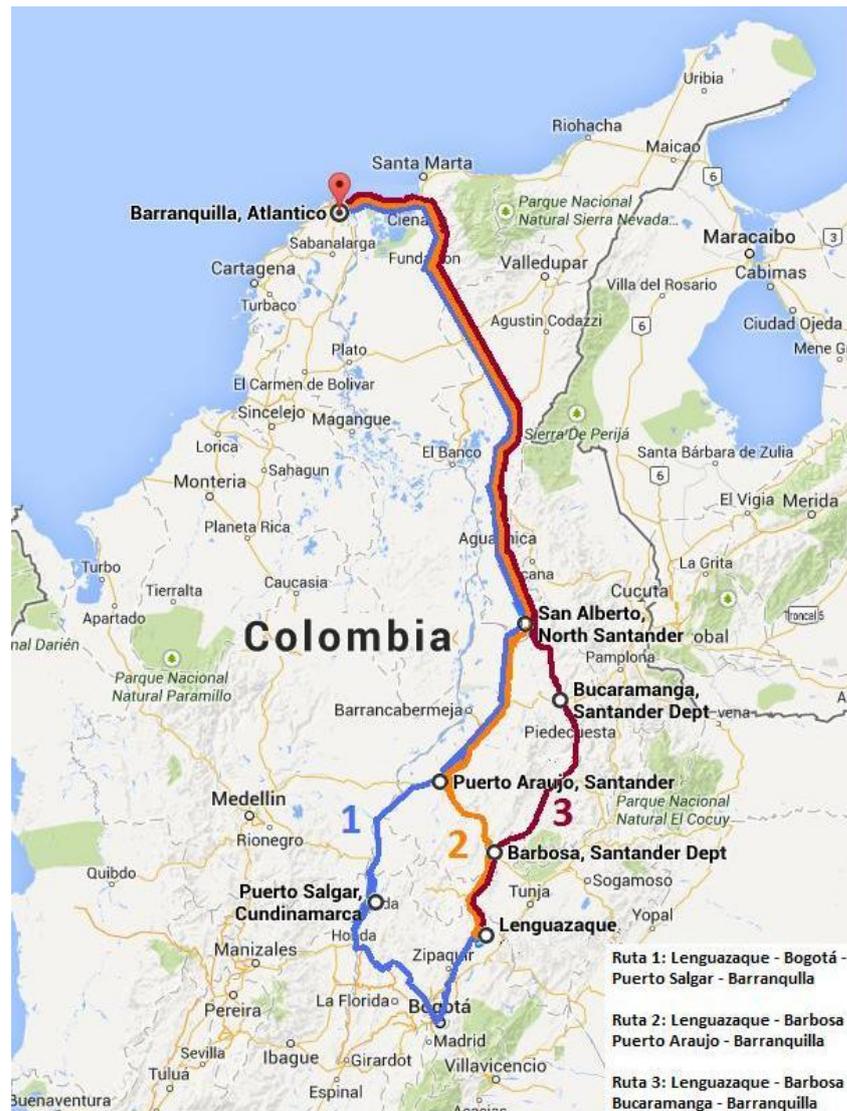
En el 2009 se movilizaron por la red de carreteras más de 176 millones de toneladas de carga de acuerdo al estudio técnico sectorial del Ministerio de Minas y Energía, 2010, representando un 73,3% sobre el total de la carga movilizada en el país en todos los modos de transporte. De igual manera el estudio menciona que de la carga movilizada por carreteras en Colombia, aproximadamente el 15% corresponde a minerales, donde se destacan el transporte de carbón, coque, cemento, yesos y calizas (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

Por otro lado el Ministerio de Transporte, 2014, indica que la carga movilizada vía terrestre para el 2013 fue de 220 millones de toneladas. Un incremento del 25% con respecto al 2009. En este año el porcentaje de la carga movilizada fue de un 27% para productos agroindustriales, 46% industriales, 10% minerales y 17% agrícolas, una disminución del 5% con respecto al año 2009 en el transporte de minerales que se compensó con el transporte férreo (Ministerio de Transporte, 2014).

Para el caso del carbón y coque producido en el interior del país en los distritos Paz de Río y Zipaquirá hacia los puertos de exportación en el Atlántico, la principal ruta utilizada es la de Lenguazaque – Barranquilla (ConSORICO Silva Carreño & Asociados S.A. - Hugo Millán, 2004). Entre Lenguazaque y Barranquilla existen tres rutas posibles, tal y como se describen en la Tabla 8, para el transporte del carbón: la primera a través de Bogotá y Puerto Salgar, la segunda por Barbosa y Landázuri, y la tercera por Bucaramanga. En los tres casos se trata de carreteras bidireccionales con dos carriles y ancho variable de bermas (UPTC-UNALMED-UNINORTE, 2008).

La Figura 16 ilustra las rutas dentro del mapa colombiano para el transporte de carbón y coque desde el interior del país hacia los puertos de exportación.

Figura 16: Mapa de Rutas entre Lenguazaque y Barranquilla



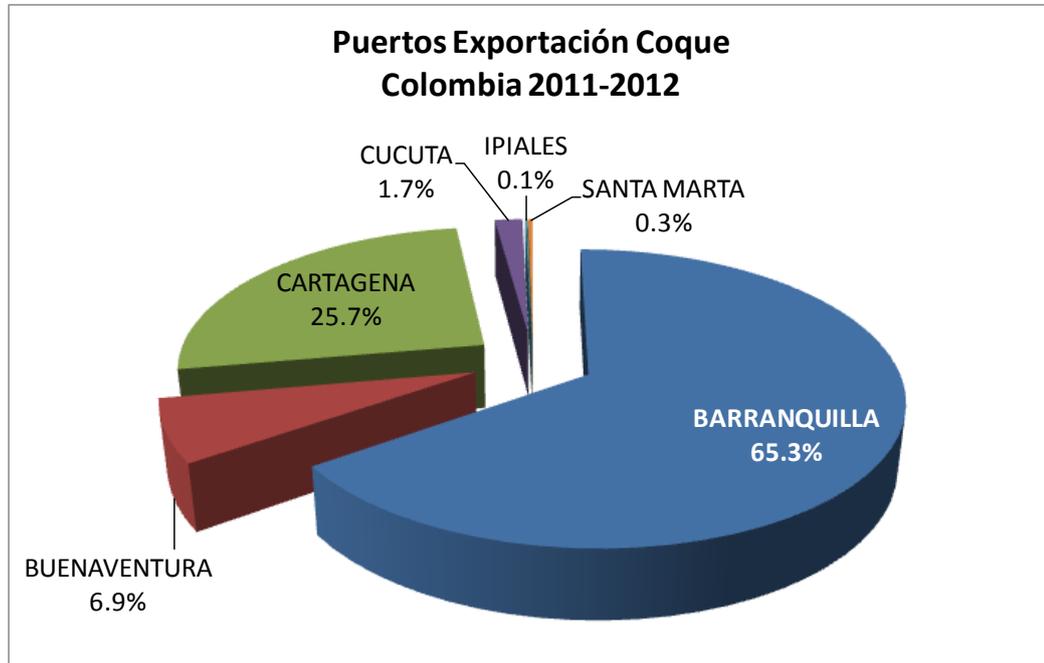
Fuente: Elaboración propia a partir de (UPTC-UNALMED-UNINORTE, 2008) y (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

8.2.3. Puertos de Exportación

Debido a que el mercado del coque metalúrgico que se produce en Colombia está dirigido especialmente a Europa, Brasil y Estados Unidos, los principales puertos colombianos de exportación se encuentran localizados en el Atlántico, y son el puerto de Barranquilla y el puerto de Cartagena, ya que cuentan con la infraestructura adecuada para el almacenamiento y cargue de este producto. El puerto de Barranquilla adicionalmente cuenta con acuerdos comerciales con las empresas exportadoras de coque en el país para el uso de este puerto lo que lo ha convertido en el principal puerto para exportación de este producto.

La Figura 17 muestra la importancia de estos dos puertos para la exportación del coque en Colombia donde se puede evidenciar la relevancia que tiene el puerto de Barranquilla frente a los demás puertos.

Figura 17: Puertos de Exportación de Coque en Colombia 2011 – 2012



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CVN, 2011-2012

Es evidente que el puerto de Barranquilla en los últimos años ha sido el principal puerto de exportación de coque en Colombia con una participación del 65% de total de coque exportado en los años 2011 y 2012 y un total de 2.13 millones de toneladas dentro de los dos años (Centro Virtual de Negocios, 2013). Este puerto también presenta unas condiciones importantes para el manejo del producto, pues tiene una capacidad de almacenaje para carbón y coque de más de 171,000 toneladas en un área de 85,000 m^2 a una altura de apilamiento de 5 metros y un muelle con grúas y cucharas que permiten una tasa de cargue de hasta 7,000 toneladas diarias.

Conforme a lo anterior este trabajo se centra en analizar estrategias de distribución tomando el puerto de Barranquilla como el puerto de exportación del coque metalúrgico puesto que si bien existe movimiento de coque a través de otros puertos como el caso de Buenaventura este es mínimo y no amerita un análisis profundo. De otra parte Márquez en el 2011 hace un análisis para optimizar una red de transporte para la exportación de carbón desde el interior

del país de tal manera que se encuentren los flujos de transporte de mínimo costo, en este modelo Márquez incluye los puertos potenciales de exportación de carbón y coque donde se encuentran no solo los puertos privados para la exportación de carbón térmico si no también los puertos públicos de Barranquilla, Cartagena y Buenaventura y donde al final concluye que “los carbones de Boyacá y Cundinamarca deben ser transportados por las nuevas infraestructuras ferroviarias modeladas hasta unos centros de transferencia de carga situados en Barrancabermeja y Bocas del Carare, donde se inicia una etapa de transporte fluvial hasta el puerto de Barranquilla” lo que sustenta de igual manera centrarse en el puerto de Barranquilla como principal puerto para la exportación de coque.

8.2.4. Costos de la Estrategia de Distribución Actual

Como se mencionó en el numeral 8.2, el transporte de coque desde los distritos mineros de Paz de Rio y Zipaquirá se realiza en su totalidad vía terrestre hasta los puertos de exportación, debido en principal medida a la falta de desarrollo y disponibilidad de una infraestructura logística que permita alternativas diferentes al uso de la red vial y de tractomulas para este fin.

Por lo anterior los costos relacionados con la estrategia de distribución actual están determinados por los costos de transporte terrestre y básicamente se resumen en los fletes que las empresas exportadoras de coque deben pagar a las empresas de transporte por trasladar el producto desde sus instalaciones hasta los puertos de embarque (UPTC-UNALMED-UNINORTE, 2008). Estos fletes son resultado de la negociación entre productores y transportistas siguiendo la política de libertad de tarifas establecida por el Ministerio de Transporte en el 2011 y que contemplan como se ha venido mencionando todos los costos asociados directos e indirectos en los que deben incurrir los transportistas como salarios, combustibles, mantenimiento, etc. pero que para efectos de este trabajo y desde la perspectiva de las empresas productoras es una tarifa plena integral que cubre todos estos costo y sobre las cuales se realizan los análisis dentro del estudio.

Estudios relacionados con los costos de transporte terrestre han establecido que éstos representan en promedio el 37% del comercio exterior colombiano, de los cuales el 22% está directamente relacionado con el costo del flete y el 15%

restante con los costos de seguros, esperas, cargue y descargue (Paredes Morato, 2010). En cuanto a los fletes, otros estudios han encontrado que los costos del transporte terrestre para minerales está en \$114.63/Ton-km, y en la ruta Lenguaque – Barranquilla alcanza los US\$44.38 /Ton, unos \$87,000/Ton a una tasa de cambio promedio de \$1,960 por dólar (Ministerio de Minas y Energía, 2010) (Márquez, 2011).

Para el caso del coque y teniendo en cuenta los precios promedio de exportación FOB reportado entre enero de 2012 y junio de 2013 en las declaraciones de exportación de este producto, el flete a puerto representa cerca del 17% sobre el precio de venta, lo que podría significar más del 22% sobre los costos de producción (Centro Virtual de Negocios, 2013).

Dada la importancia del costo del transporte terrestre dentro de este trabajo, se siguió la metodología usada en los trabajos de tesis de Belanina (2013) y Flodén (2007), de análisis de mercado para la determinación de los costos de transporte y se procedió a realizar análisis de mercado sobre los fletes que fueron pagados por las empresas exportadoras desde los centros de despacho hacia el puerto de Barranquilla de tal manera que se tuviera mayor certeza sobre los datos a evaluar y a comparar con las estrategias potenciales que se desarrollaran en el siguiente capítulo. Para ello se realizaron visitas de campo a la zona de influencia, específicamente a los municipios de Lenguaque y Guachetá donde dos de las principales empresas exportadoras de coque tienen sus centros de despacho a puerto para realizar entrevistas a los encargados de los despachos de estas empresas, en aras de conocer las tarifas promedio mensuales que se pactaron con los transportadores durante el último año. También se entrevistó una empresa de transporte la cual permitió contrastar la información suministrada por las empresas.

La información recolectada sobre las tarifas de fletes desde la zona de influencia hacia el puerto de Barranquilla se detalla en la Tabla 9.

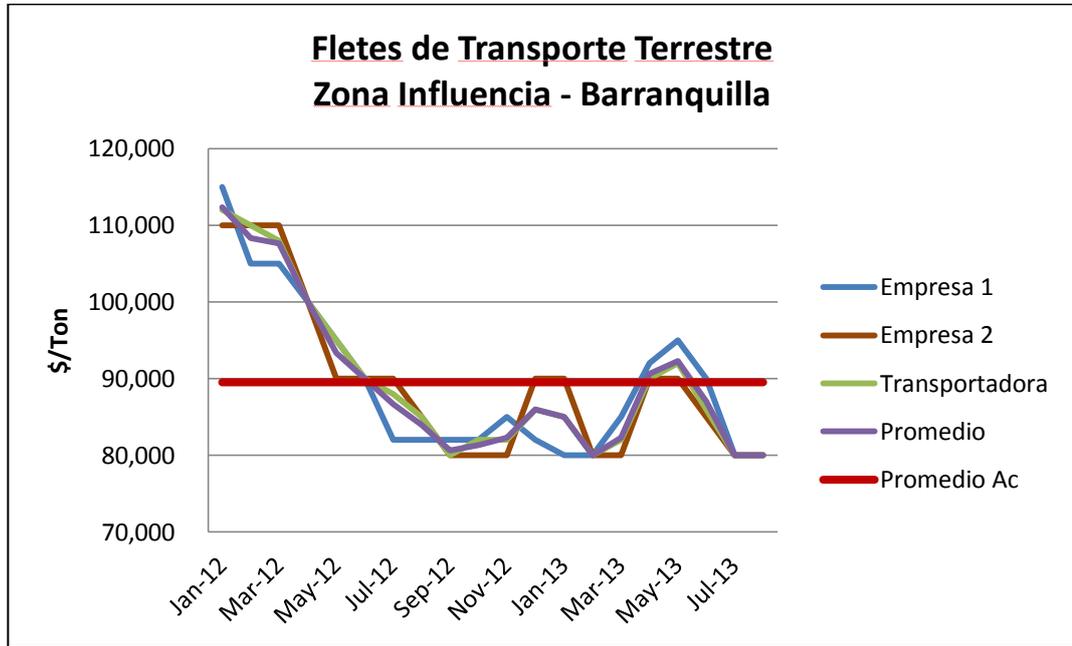
Tabla 9. Fletes de Transporte Terrestre desde Lenguaque/Guachetá hasta el Puerto de Barranquilla 2012 – 2013 (\$/Ton)

Mes	Empresa 1	Empresa 2	Transportadora
Jan-12	115,000	110,000	112,000
Feb-12	105,000	110,000	110,000
Mar-12	105,000	110,000	108,000
Apr-12	100,000	100,000	100,000
May-12	95,000	90,000	95,000
Jun-12	90,000	90,000	90,000
Jul-12	82,000	90,000	88,000
Aug-12	82,000	85,000	85,000
Sep-12	82,000	80,000	80,000
Oct-12	82,000	80,000	82,000
Nov-12	85,000	80,000	82,000
Dec-12	82,000	90,000	86,000
Jan-13	80,000	90,000	85,000
Feb-13	80,000	80,000	80,000
Mar-13	85,000	80,000	82,000
Apr-13	92,000	90,000	90,000
May-13	95,000	90,000	92,000
Jun-13	90,000	85,000	86,000
Jul-13	80,000	80,000	80,000
Aug-13	80,000	80,000	80,000
Promedio	89,350	89,500	89,650

Fuente: Elaboración propia según información recolectada en visitas de campo y entrevistas.

De la tabla anterior se procedió a representar gráficamente los datos donde se puede observar una tendencia decreciente en los fletes de transporte en los últimos seis meses, especialmente por la baja en los precios internacionales del coque y que jalonan el precio del flete terrestre para este producto:

Figura 18. Evolución de Fletes de Transporte Terrestre desde Lenguazaque/Guachetá hasta el Puerto de Barranquilla 2012 – 2013



Fuente: Elaboración propia según información recolectada en visitas de campo y entrevistas.

Como se puede observar en la Figura 18, el precio promedio acumulado en el periodo Enero 2012 – Agosto 2013 está cercano a los \$90,000 por tonelada de coque transportada al puerto de Barranquilla lo cual contrasta con la información presentada por el Ministerio de Minas y Energía en el estudio del 2010 donde se habla de un costo del flete del orden de \$87,000 por tonelada y que permite definir un patrón que si bien es volátil en el tiempo y fluctúa de acuerdo a los precios internacionales del coque y a la informalidad del sector, parece comportarse en el tiempo en este rango.

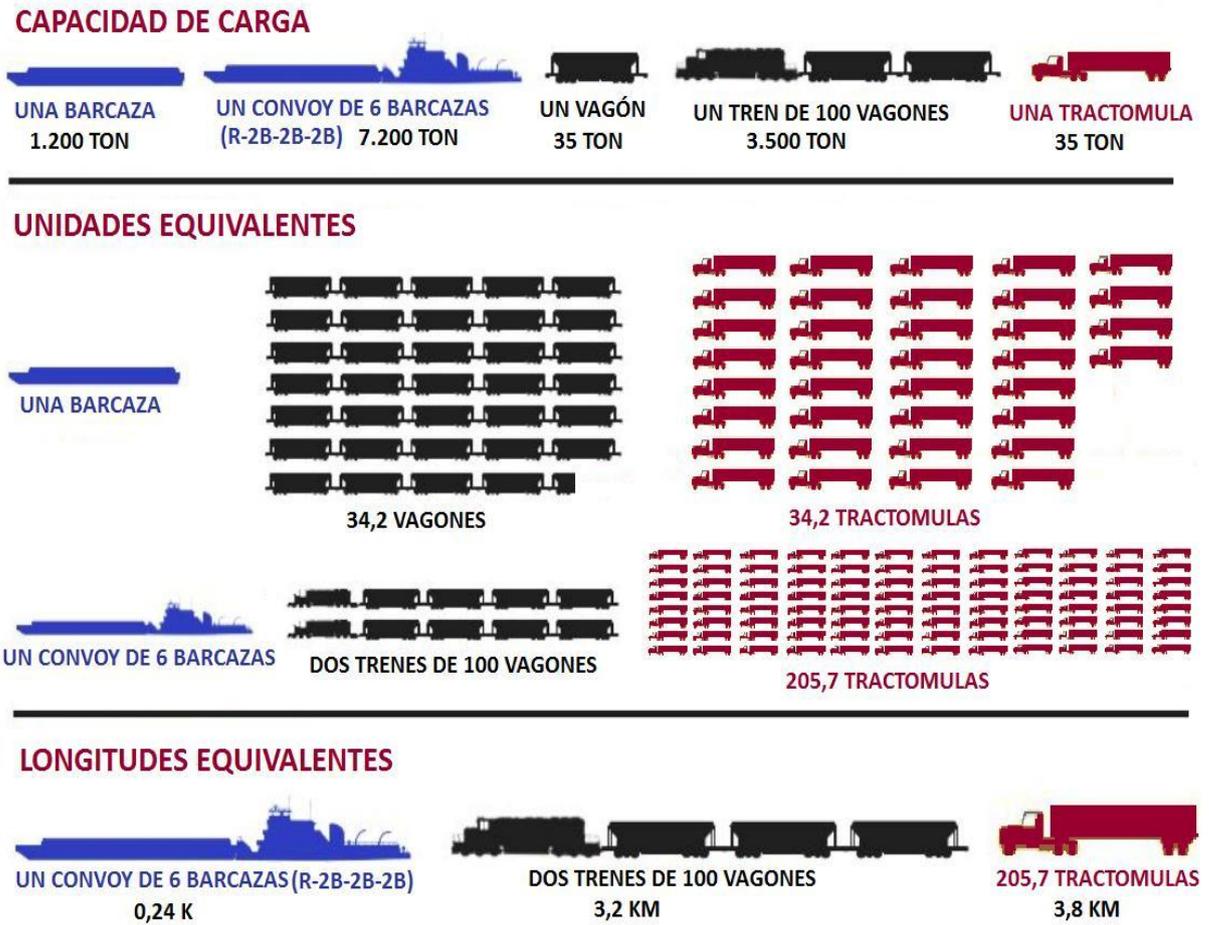
Por lo anterior el precio promedio del flete de \$90,000 por tonelada será el precio de comparación para efectos del estudio de costos entre las diferentes alternativas.

8.3. Estrategias Potenciales de Distribución Intermodal

Como se mencionó en el numeral 8.2, la vía terrestre es el medio predominante para el transporte de coque en Colombia desde el centro del país donde se concentran las plantas de coquización hasta los puertos de exportación. Sin embargo existen otras alternativas potenciales que se encuentran en desarrollo y que pronto podrían estar a disposición de las compañías exportadoras de coque como son la vía férrea y la vía fluvial.

Las alternativas fluvial y férrea ofrecen mayores capacidades de carga, que significan un mejor uso de los recursos y por ende menores costos. Como se puede apreciar en la Figura 19, mientras que una tractomula solo puede cargar 35 toneladas, un vagón de tren en las carrileras colombianas puede cargar 35 toneladas y un tren de 100 vagones un total de 3,500 toneladas por viaje, mientras que una sola barcaza tiene capacidad de 1.200 toneladas y un convoy en las condiciones actuales del Río Magdalena puede transportar hasta 7.200 toneladas de carga. Lo que quiere decir, que para cubrir la capacidad del convoy de la vía fluvial en el modo terrestre se requieren 206 tractomulas que deben hacer uso de la red de carreteras y que para transportar grandes volúmenes en grandes distancias generan congestión en estas vías (Ministerio de Transporte, 2005). Adicionalmente el modo fluvial requiere menor unidad de fuerza que cualquier otro medio, ya que solo requiere de 1HP para movilizar 1 tonelada de carga, mientras que en el modo férreo con la misma unidad de fuerza solo puede movilizar 500 kg y una tractomula tan solo 150 kg (CONPES 3758, 2013).

Figura 19. Comparativo de Capacidades de Carga por Tipo de Transporte



Fuente: elaboración propia.

La Figura 19 expone la gran diferencia que existe entre el transporte fluvial y los demás modos de transporte y contrasta con el factor de estiba mencionado en el numeral 5.1, sobre todo para la movilización de grandes volúmenes como es el caso del coque metalúrgico.

De igual manera los costos se ven claramente reducidos en el transporte fluvial, ya que como lo expone Márquez, 2011, el costo del transporte fluvial es 1.53 veces más económico que el transporte férreo y 3.34 veces más económico que el terrestre.

De otra parte es importante tener en cuenta que el flujo de transporte del coque se puede considerar como de gran volumen y precio bajo y los trasbordos generan consumo de tiempo y altos costos, por lo cual tener varios modos de transporte o

una gran cantidad de puntos de transferencia puede no ser práctico (Beresford, et al., 2011).

No obstante y por el tipo de producto y la configuración geográfica del territorio colombiano y la localización de las reservas de carbón coquizable y plantas de producción de coque, un sistema de transporte multimodal puede ser adaptado para obtener un mayor beneficio económico y logístico. Se recomienda que para distancias largas es más apropiado usar el transporte fluvial y dejar el transporte terrestre y férreo para distancias cortas (McKinnon, 1989).

8.3.1. La Cuenca del Río Magdalena

El Río Magdalena es la arteria fluvial más importante de Colombia con una extensión de 1,540 km y su cuenca ocupa el 24% de la superficie continental del territorio. Nace en la laguna de La Magdalena, en el páramo de Las Papas, en el departamento del Huila, discurre por el norte entre las cordilleras Oriental y Central y atraviesa el país por su occidente de sur a norte hasta verter sus aguas en el mar Caribe en Bocas de Cenizas en la ciudad de Barranquilla. La cuenca del río está constituida por 31 ríos principales y numerosos afluentes donde se encuentran los ríos Cauca, La Miel, Sumapaz, Cesar entre otros, siendo el principal el río Cauca (Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2012).

En el área de influencia de la cuenca del Magdalena, habitan cerca de 28 millones de colombianos, abarcando 18 departamentos y 726 municipios entre los cuales se encuentran las principales capitales y centros urbanos del país como Bogotá, Medellín, Cali, Bucaramanga, Manizales, Pereira, Cartagena, Barranquilla, Ibagué y Neiva. La cuenca genera el 85% del Producto Interno Bruto colombiano, genera el 70% de la producción hidroeléctrica y el 95% de la termoeléctrica del país y concentra el 75% de la producción agropecuaria y 95% de la producción cafetera (Quintero Henao, 2012).

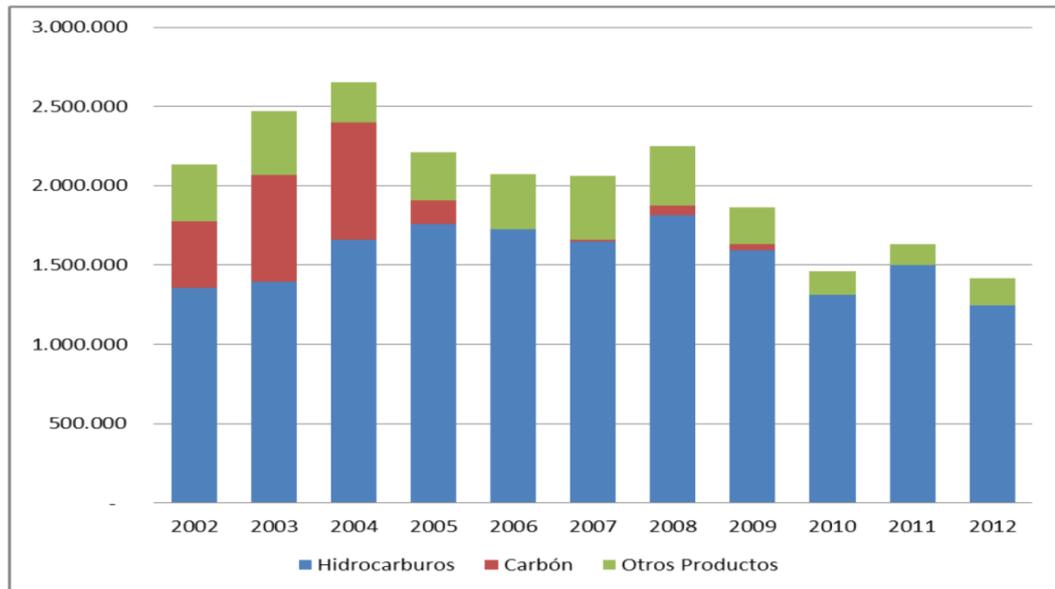
Lo anterior demuestra la importancia del Río Magdalena y el por qué es la clave en el desarrollo del transporte en Colombia. Debido a esto el gobierno nacional colombiano ha emprendido acciones que permitan el desarrollo del río como ruta fluvial navegable desde los puertos de Honda y Puerto Salgar hasta los puertos de Barranquilla y Cartagena. Por lo tanto a partir de la Constitución Política de 1991,

el Ministerio de Transporte sufre una transformación donde empieza a crear organismos adscritos y vinculados, entre los cuales se encuentra la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena – Cormagdalena – organizada a través de la ley 161 de 1994, cumpliendo con el artículo 331 de la misma Constitución Política que dispuso su creación y donde se define que tiene como objeto “la recuperación de la navegación y de la actividad portuaria, la adecuación y conservación de tierras, la generación y distribución de energía así como el aprovechamiento sostenible y la preservación del medio ambiente, los recursos ictiológicos y demás recursos naturales renovables de la cuenca fluvial del Río Grande de La Magdalena”.

Actualmente el río es navegable comercialmente desde su desembocadura en Bocas de Cenizas (Barranquilla) hasta Barrancabermeja en una longitud aproximada de 637 kilómetros y en una pequeña proporción con embarcaciones pequeñas hasta Puerto Berrío y Puerto Salgar con una longitud de 156 kilómetros, alrededor de un 66%, por donde se transporta principalmente combustóleo, A.C.P.M., productos agroindustriales y materias primas, además de pasajeros (Ministerio de Transporte, 2014). En el 2013, la movilización de carga por el Río Magdalena fue de 1,38 millones de toneladas, equivalentes al 0.8% del total de la carga movilizadora en el país.

La Figura 20 muestra la movilización de carga por el Río Magdalena desde el 2002 hasta el 2012.

Figura 20. Histórico de Movilización de Carga por el Río Magdalena



Fuente: tomado de (CONPES 3758, 2013)

Dentro de los planes de Cormagdalena se encuentra la Asociación Público Privada para la recuperación de la navegabilidad del Río Magdalena mediante la realización de obras de encauzamiento entre Puerto Salgar – La Dorada y Barrancabermeja y actividades de operación y mantenimiento entre Puerto Salgar – La Dorada y Barranquilla, donde se busca restablecer la operación fluvial de movilización de carga por el río de manera continua (Cormagdalena, 2014).

Las condiciones de navegabilidad actuales del río se pueden apreciar en la Tabla 10, las cuales dependen en gran medida de la tipología de las embarcaciones y la época del año. Se puede concluir que el tramo entre Barrancabermeja y Barranquilla presenta las mejores condiciones actuales de navegación y donde los trabajos para el mantenimiento del canal navegable son menores, ya que permite una profundidad de navegación de 7 pies, ideal para las barcas usadas en el transporte fluvial, mientras que en el tramo Puerto Salgar – Barrancabermeja se requieren mayores labores y el dragado solo permite profundidades de 4 y 4,5 pies, limitando el tamaño de las embarcaciones y la capacidad de carga de las mismas.

Tabla 10. Condiciones del canal navegable del Río Magdalena actuales

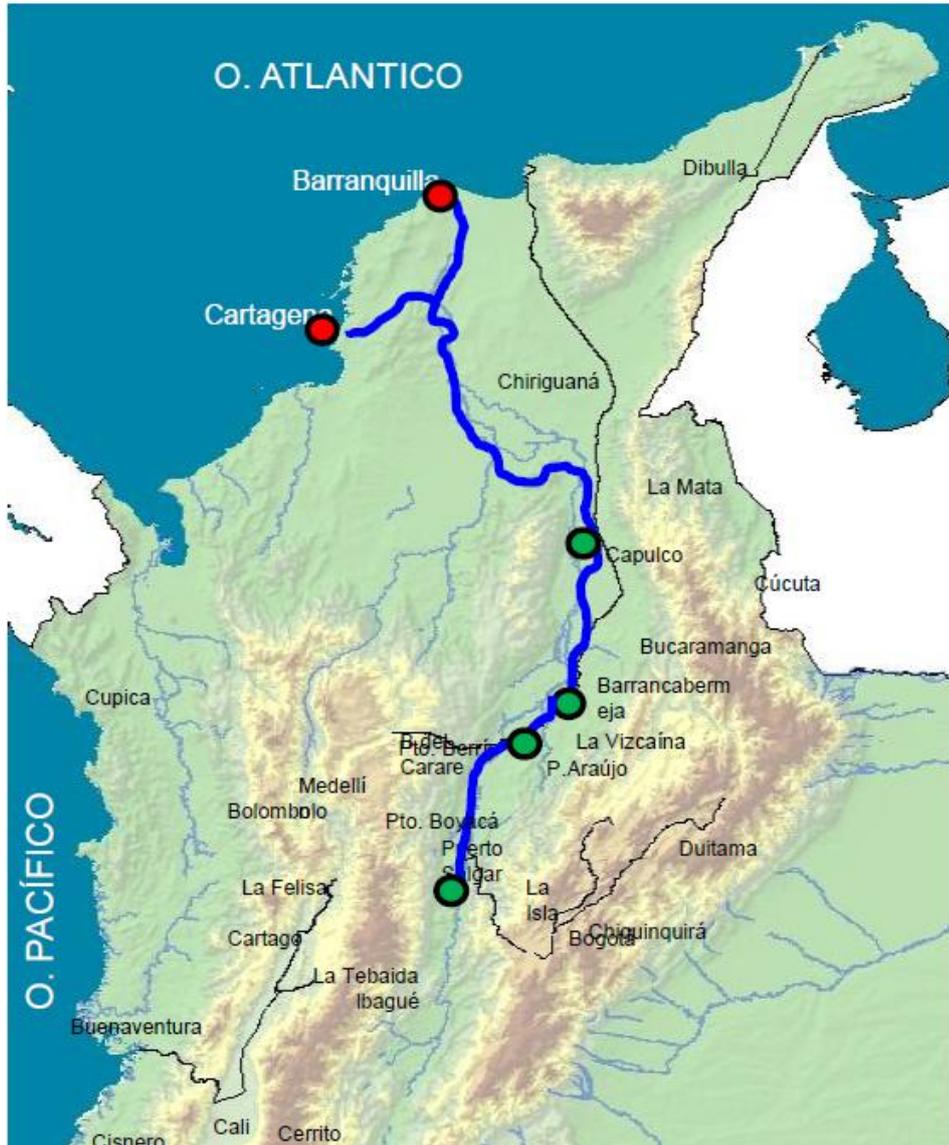
Sector	Observaciones	Profundidad
Puerto Salgar/La Dorada - Puerto Berrío	Este sector presenta restricciones de profundidad que impiden la navegación permanente y continúa durante los 365 días del año	Con dragado las condiciones de profundidad este tramo del canal navegable son de 4 pies en época de nivel bajo
Puerto Berrío - Barrancabermeja¹⁶	Este sector presenta restricciones de profundidad que impiden la navegación permanente y continúa durante los 365 días del año	Con dragado las condiciones de profundidad de este tramo del canal navegable son de 4,5 pies en época de nivel bajo
Barrancabermeja – Calamar – Puente Pumarejo	Este sector presenta restricciones en algunos tramos (i.e Meandro de Pinillos)	Con dragado las condiciones de profundidad de este tramo del canal navegable son de 7 pies en época de nivel bajo
Canal de Acceso a Barranquilla	Cuenta con una longitud de 22 kilómetros desde la desembocadura del río hasta el puente Laureano Gómez	Con dragado las condiciones de profundidad son de 37.5 pies
El Canal del Dique	Se desprende a la altura de la población de Calamar y desemboca después de 115 km por el sitio Pasacaballos en la Bahía de Cartagena	Con dragado las condiciones de profundidad son de 8 pies

Fuente: tomado de (CONPES 3758, 2013)

Sobre la ruta fluvial del Río Magdalena se encuentran ubicadas 13 concesiones portuarias y 9 en solicitud que en conjunto suman cerca de \$120 mil millones (Quintero Henao, 2012). En el río también se cuenta con puertos públicos y privados en servicio, dentro de los cuales se encuentran Puerto Salgar, Puerto Berrío, Puerto Galán, Puerto Wilches y Capulco como puertos públicos y Puerto Nare y Tamalameque como privados. De los puertos públicos, solo Puerto Berrío y Puerto Galán cuentan con infraestructura para el manejo de carga en sus muelles incluido el carbón, sin embargo esta infraestructura está lejos de permitir un manejo eficiente y de grandes volúmenes. No obstante en estos puertos se han realizado algunas pruebas para el transporte de Carbón y Coque hacia el puerto de Barranquilla (Ministerio de Minas y Energía, 2011).

La Figura 21 permite ver la ruta fluvial desde Puerto Salgar hasta Barranquilla o Cartagena y la localización de los principales puertos fluviales sobre el río.

Figura 21. Principales Puertos Fluviales Sobre el Río Magdalena

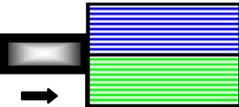
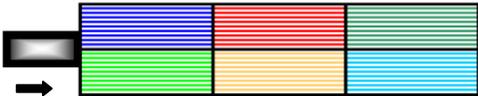


Fuente: tomado de (Ministerio de Minas y Energía, 2013)

El transporte fluvial de carga por el Río Magdalena se realiza en convoyes conformados por un remolcador y un conjunto de barcazas que varía de acuerdo al volumen y las condiciones de navegabilidad. En el Río Magdalena se mueven convoyes de diferentes conformaciones las cuales se pueden apreciar en la Tabla 11. En condiciones de aguas medias y altas, se puede navegar con un convoy de 6 barcazas, mientras que en condiciones de aguas bajas se limita esta configuración (Ministerio de Minas y Energía, 2011).

Entre Puerto Salgar y Barrancabermeja las condiciones del Río solo permiten convoyes de un remolcador y dos barcasas (R-2B; R-B-B) con una capacidad total de carga de hasta 1.000 toneladas, entre Puerto Berrío es posible la navegación con un convoy de hasta cuatro barcasas (R-2B-2B) y capacidad de hasta 4.000 toneladas por convoy y entre Barrancabermeja y Barranquilla es posible navegar con un convoy de un remolcador y hasta ocho barcasas (R-2B-2B-2B-2B) con capacidad de hasta 7.200 toneladas. Aunque por las condiciones inestables de navegabilidad del Río, la configuración con mayores posibilidades de uso y más común es de un remolcador y seis barcasas (R-2B-2B-2B) en el tramo Barrancabermeja – Barranquilla (Cormagdalena, 2008).

Tabla 11. Tipos de Convoyes Para Transporte de Carga Por el Río Magdalena

Configuración	Nomenclatura	Representación Gráfica
Remolcador + una barcaza	R – B	
Remolcador + dos barcasas en paralelo	R – 2B	
Remolcador + dos barcasas en serie	R – B – B	
Remolcador + cuatro barcasas en dos hileras de a dos	R – 2B – 2B	
Remolcador + seis barcasas en tres hileras de a dos	R – 2B – 2B – 2B	
Remolcador + seis barcasas en tres hileras de a tres	R – 3B – 3B	
Remolcador + ocho barcasas en dos hileras de a cuatro	R – 2B – 2B – 2B – 2B	

Fuente: elaborado a partir de (Ministerio de Minas y Energía, 2011) y (Cormagdalena, 2008)

8.3.2. Transporte Terrestre – Fluvial

Debido a que los centros de producción no están cerca del río ni existe una salida fluvial a éste para embarcar el producto directamente desde las plantas hacia el puerto, el producto deberá ser transportado vía terrestre hacia un puerto fluvial de tránsito. Es por esto que la alternativa multimodal Terrestre – Fluvial se debe tener en consideración, de manera que el coque sea llevado al puerto fluvial, se almacene temporalmente mientras se completa la carga y finalmente se cargue a las barcazas y transporte al puerto marítimo de exportación.

La primera etapa de transporte correspondiente a la terrestre se debe realizar en tractomulas como se realiza actualmente el transporte directo a puerto (ver Figura 15) y la segunda etapa de transporte a puerto marítimo, se debe realizar según la conformación del convoy presentado en el capítulo anterior (R-3B-3B).

El transporte intermodal Terrestre – Fluvial tiene un componente de costo que hay que tener en cuenta y que afectará el resultado final en el transporte del coque metalúrgico puesto que se deben considerar los costos del transporte terrestre, costos de descargue en puerto fluvial, costos de almacenamiento, costos del cargue en barcazas, costos de transporte fluvial y finalmente los costos de descargue en el puerto de exportación marítimo.

En consecuencia y sabiendo que no existe una operación continua sobre el río para este mineral y que los puertos fluviales por la misma actividad de bajo movimiento no poseen tarifas establecidas para las operaciones que en éstos se desarrollan, los costos para esta alternativa se estimaron a partir de información obtenida de empresas transportadoras de carga terrestre, empresas navieras fluviales y la Sociedad Portuaria de Barranquilla.

Una consideración que también se debe tener en cuenta, es que el carbón y coque que se produce en el altiplano Cundiboyacense es la carga de compensación para el transporte terrestre que transporta la carga desde los puertos marítimos en el Atlántico hacia el interior del país. Lo anterior quiere decir que para el transporte intermodal por el Río Magdalena, la carga que se genera en los puertos marítimos debe ser transportada hasta los puertos fluviales para que el coque siga siendo la carga de compensación, de lo contrario la carga de compensación sería la que se recoja en los puertos fluviales para ser transportada al interior y el generador de

carga serían las empresas mineras. Esta consideración es significativa al momento de determinar el costo del flete terrestre desde las plantas de coquización hasta los puertos fluviales.

En primer lugar se hizo una determinación de los costos para cada actividad siguiendo la metodología de análisis de precios de mercado mencionada en el numeral 8.2.4 y expuesta en los trabajos de Belanina (2013) y Flodén (2007), presentados en la Tabla 12. Se tomó como punto de partida las plantas localizadas en la zona de Lenguazaque, utilizando la ruta Lenguazaque – Barbosa – Puerto Araujo – Barrancabermeja y se estableció el costo por uso de las instalaciones del puerto fluvial como una tarifa integral, la cual comprende el uso de báscula, descargue de vehículos y cargue a barcasas. El costo del almacenaje no se considera, pues se aplican las políticas portuarias para estos productos donde se otorgan entre 30 y 45 días libres de costo de almacenamiento, tiempo suficiente para la rotación del inventario y más aún sabiendo que este es un punto de trasbordo y no de consolidación de carga.

De igual manera y para soportar los costos de transporte terrestre durante todo el análisis multimodal, se realizó una consulta en el Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga “SICE-TAC”, herramienta con la que cuenta el Ministerio de Transporte colombiano para calcular los costos de la operación de transporte de carga y que considera todos los costos asociados a cada viaje: tipo de vehículo, tipo de carga, origen/destino, costos fijos (salarios, seguros, impuestos, etc.) y costos variables (combustible, lubricantes, llantas, mantenimiento, etc.) calculando la ruta Duitama – Barranquilla que es la que mejor se asemeja por distancia y trayecto a la ruta Lenguazaque – Barrancabermeja con un resultado de \$161.58/Ton-km, o sea \$53,321/Ton para el trayecto Lenguazaque – Barrancabermeja con una distancia de 330 kilómetros aproximadamente (ver Anexo 10), contrastando con la información obtenida en las encuestas con las empresas transportadoras y productoras que a precios de mercado estiman un costo de \$40,000/Ton.

Si bien la herramienta permite tener un panorama de los costos asociados, claramente se demuestra una variación importante entre el mercado y los costos que arroja la herramienta y por lo tanto solo es una base para la negociación de las tarifas entre los transportistas y los generadores de carga. Es importante resaltar que el gobierno colombiano en el año 2011 desmontó la política de

regulación del mercado de transporte de carga a través de la tabla de fletes e implantó la política de transporte de carga de libertad de tarifas con el objetivo modernizar el sector y permitir que los más eficientes tengan la posibilidad de competir con mejores precios, logrando también que el generador de la carga pueda hacer parte en la negociación de las tarifas.

Los costos de las tarifas portuarias por el uso de las instalaciones tanto en puerto fluvial como marítimo, además del transporte fluvial fueron obtenidos de información recibida de empresas navieras que navegan por el río y de la Sociedad Portuaria de Barranquilla y contrastadas con los estudios realizados por Cormagdalena (2014), Asoportuaria (2013), y el Ministerio de Minas y Energía (2011).

Se puede apreciar en la Tabla 12 que el costo total por tonelada en las condiciones actuales de mercado y generación de carga sumando cada una de las actividades es de \$79,000/Ton.

Tabla 12. Costos por Actividad Transporte Terrestre – Fluvial (Pesos Colombianos por tonelada)

Actividad	Costo - \$/Ton
Transporte Terrestre (Planta - Barrancabermeja)	\$ 40,000
Uso Puerto Fluvial	\$ 8,000
Transporte Fluvial (Barrancabermeja - Barranquilla)	\$ 23,000
Descargue en Puerto Marítimo	\$ 8,000
Total	\$ 79,000

Fuente: elaboración propia a partir de entrevistas, visitas de campo y (ASOPORTUARIA, 2013) (Cormagdalena, 2014).

En segundo lugar se encontró que si en vez de realizar cada operación por separado, se realiza una negociación multimodal a cargo de un solo operador que se encargue de unir todas las actividades se puede esperar un costo total en el transporte Terrestre – Fluvial cercano a los \$70,000/Ton como se demuestra en el estudio realizado por ASOPORTUARIA, 2013.

Como se puede evidenciar, en cualquiera de las dos opciones se obtiene un ahorro en costo por tonelada transportada con respecto a la alternativa terrestre presentada en el numeral 6.2.4 de \$90,000/Ton. Sin embargo y como se

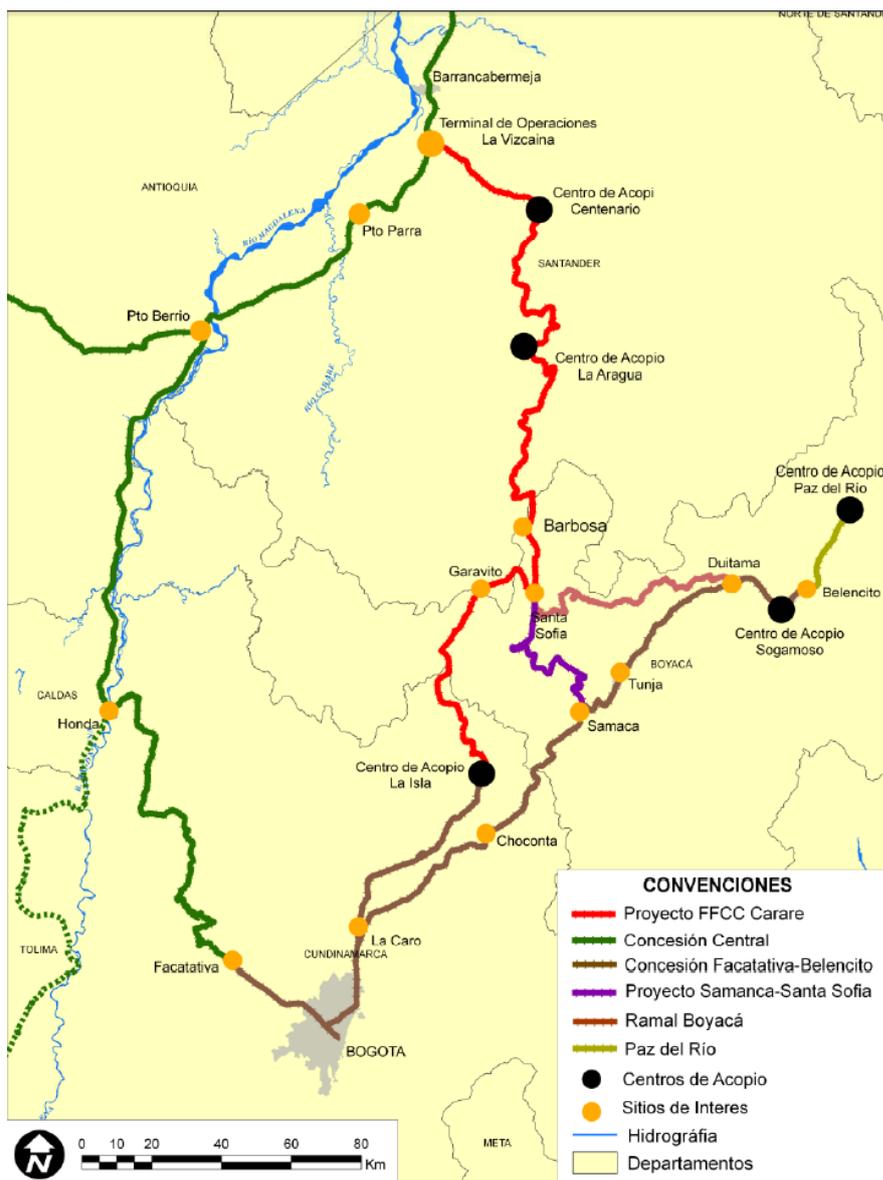
presentará en el capítulo 11, se debe evaluar el impacto que tienen las operaciones adicionales en la calidad del coque metalúrgico, a fin de determinar el beneficio real.

8.3.3. El Ferrocarril del Carare

En el año 2008 a raíz de una convocatoria de mineros y empresas productoras de carbón y con acompañamiento de la Federación Nacional de Productores de Carbón (FENALCARBON), se crea la Corporación para el Desarrollo del Ferrocarril del Carare (CORPOCARARE) con el fin de desarrollar la construcción de una red férrea por las minas carboníferas ubicadas en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Santander, y así lograr movilizar los carbones que se producen en estas zonas para posteriormente conectarse con el Ferrocarril Central y así poder buscar los puertos marítimos del atlántico para su exportación (CORPOCARARE, 2009).

El Ferrocarril del Carare tiene rutas preliminares y localización de centros de acopio que permitirán cubrir toda la zona de influencia las cuales se pueden apreciar en la Figura 22. Con los centros de acopio propuestos se cubren los requerimientos en todas las zonas carboníferas potenciales. El centro de acopio La Isla puede recoger los carbones que se producen en el norte de Cundinamarca y occidente de Boyacá, el centro de acopio Sogamoso cubre el norte y oriente de Boyacá y los centros de acopio La Aragua y Centenario todos los carbones de Santander (Ministerio de Minas y Energía, 2011). De igual manera en el proyecto se considera la recuperación de la línea férrea Bogotá-Belencito tanto para el transporte de carga como de pasajeros. Esta ruta ha sido evaluada en sus limitaciones de capacidad donde puede ser aumentada en la medida que se rehabiliten las estaciones y se permita el cruzamiento de trenes (Márquez Díaz, et al., 2011).

Figura 22. Esquema del Proyecto del Ferrocarril del Carare



Fuente: tomado de (CORPOCARARE, 2009)

El Ferrocarril del Carare tiene previsto tres corredores por los que se movilizará la carga de la zona de influencia y que suman más de 396 kilómetros de longitud los cuales deberán ser construidos en su totalidad.

La Tabla 13 muestra las rutas y las respectivas longitudes que tiene previsto el Ferrocarril del Carare.

Tabla 13. Rutas y Longitudes de los Tramos del Ferrocarril del Carare

Tramo	Corredor ferroviario	Distancia – km
1	La Isla – Barbosa	63.5
2	Barbosa– La Vizcaína	219.13
3	Tibasosa – Santa Sofía	114.00
TOTAL		396.63

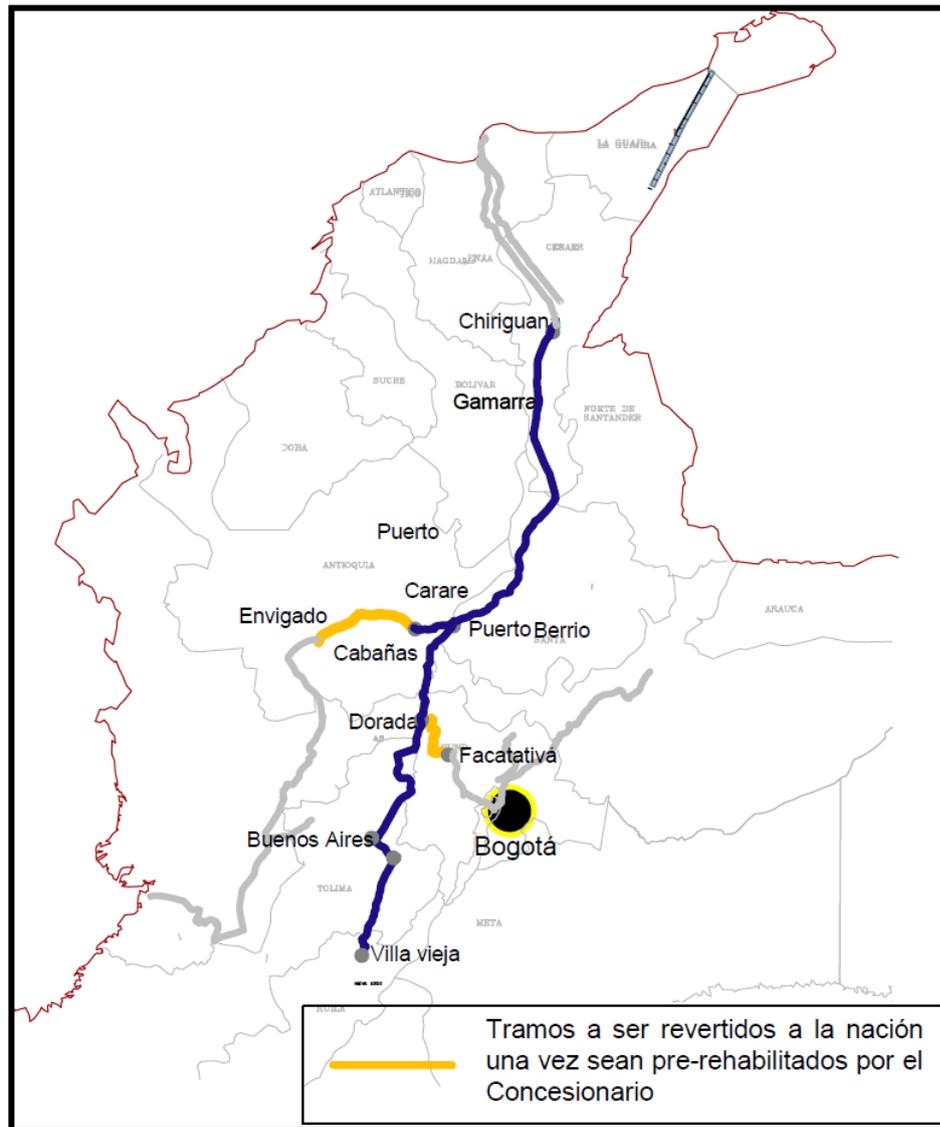
Fuente: tomado de (Ministerio de Minas y Energía, 2011)

8.3.4. El Ferrocarril Central

El Sistema Ferroviario Central tiene una longitud total de 1,214 km que se extiende a lo largo del valle del Río Magdalena, desde Villa Vieja en el Huila hasta Chiriguaná en el Cesar y conecta la zona centro del país con la red férrea del Atlántico (Chiriguaná – Santa Marta) que se encuentra en concesión a la empresa Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A. – FENOCO S.A. (Ministerio de Minas y Energía, 2011). La Figura 23 ilustra el Sistema Ferroviario Central.

En abril del 2008 a través del documento CONPES 3512, el gobierno colombiano autoriza al Instituto Nacional de Concesiones, INCO (ahora Agencia Nacional de Infraestructura, ANI) a desarrollar el denominado proyecto de “Concesión Sistema Ferroviario Central” con los objetivos de restablecer el transporte ferroviario hacia Santa Marta y extender la vía concesionada hasta el departamento del Tolima con la reconstrucción de la vía férrea entre La Dorada y Buenos Aires (CONPES 3512, 2008). Para esto se tuvieron en cuenta el estado actual de los tramos que conforman el sistema férreo y que se relacionan en la Tabla 14.

Figura 23. Sistema Ferroviario Central



Fuente: tomado de (CONPES 3512, 2008)

Tabla 14. Tramos Sistema Ferroviario Central

Tramo	Longitud-km	Estado Actual
Villavieja - Buenos Aires	154	Inactivo y sin rehabilitar
Buenos Aires – Mariquita – La Dorada	177	Inactivo y sin rehabilitar
La Dorada - Chiriquán	523	Rehabilitado
Puerto Berrío – Cabañas	29	Rehabilitado
Cabañas – Envigado	169	Sin rehabilitar
La Dorada – Facatativa	162	Sin rehabilitar

Fuente: tomado de (CONPES 3512, 2008)

El proyecto del Ferrocarril Central comprende de igual forma diversas actividades que deben ser ejecutadas para poder operar esta vía, dentro de estas se encuentran la rehabilitación, reconstrucción, construcción y mantenimiento de la red férrea, para así poder prestar el servicio de transporte de carga y la explotación comercial en este corredor. También se tiene en consideración que la consecución de recursos que permitan garantizar la conservación y aprovechamiento de los tramos que queden a cargo del INVIAS luego de que sean rehabilitados por el concesionario y aquellos que no estén dentro de la concesión, será responsabilidad del Ministerio de Transporte, la ANI y el mismo INVIAS (Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2012).

Actualmente y a pesar de adelantar varios procesos licitatorios fallidos, la ANI decidió modificar el proyecto y se encuentra evaluando la viabilidad técnica y económica de una serie de iniciativas privadas a la luz del nuevo régimen jurídico de las Asociaciones Publico Privadas a fin de recuperar definitivamente y poner en funcionamiento no solo esta red férrea sino las demás que se encuentran paralizadas (Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2012).

8.3.5. Concesión FENOCO

La red férrea del atlántico fue otorgada en concesión en 1999 y por un periodo de 30 años a la empresa Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A. (FENOCO S.A.), esta red estaba conformada inicialmente por la línea Bogotá – Santa Marta y los ramales Bogotá – Belencito y Bogotá – Lenguazaque, con una extensión de 1.493 km, cruzando los departamentos de del Cesar, Magdalena, Santander, Boyacá, Antioquia, Cundinamarca y Caldas (Ministerio de Minas y Energía, 2011).

En el año 2006 la concesión fue renegociada y FENOCO se limita únicamente a la operación del tramo Chiriguana – Santa Marta de 245 km como se puede apreciar en la Figura 24, mientras tanto se desafectaron los demás tramos de la concesión inicial los cuales pasaron a manos del INCO (ahora ANI).

La vía férrea está construida con trocha estrecha y por ella se movilizan alrededor de 45 millones de toneladas al año (MTA) de carbón térmico procedente en gran proporción de las minas de operación a cielo abierto de las compañías C.I. Prodeco S.A. (Glencore) y Drummond Coal Mining.

Figura 24. Concesión FENOCO



Fuente: tomado de <http://www.fenoco.com.co/> (consulta 04/03/2014)

Dentro de marco regulatorio de la concesión, el concesionario deberá construir una segunda línea de 145 km de los cuales ya se encuentran ejecutados 100 km, esta segunda línea permitirá aumentar la capacidad de carga a 80 MTA y adicionalmente permitirá el transporte de otras cargas de exportación o importación una vez se logren los acuerdos con la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) (Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2012).

Es importante señalar que actualmente esta concesión se encuentra trabajando al máximo de su capacidad y no puede ser utilizado por otros operadores durante el periodo de vigencia del contrato de la actual concesión (Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2012). Lo anterior limita el uso de esta red férrea y se convierte en una restricción al momento de pensar en unir el Sistema Ferroviario Central con la red del Atlántico para la exportación del carbón producido en el interior del país, impidiendo el acceso a los puertos de exportación.

8.3.6. Transporte Terrestre – Férreo

Al igual que sucede en la alternativa Terrestre – Fluvial, mientras las rutas férreas no contemplen dentro de su trazado el cruce de las líneas por las plantas de producción o minas de carbón, se deberá hacer uso de las carreteras para el transporte de los productos desde las plantas hasta patios de acopio y de transferencia al modo férreo, de igual manera deberá realizarse un transporte terrestre desde el patio de acopio de destino hacia los puertos de exportación.

La primera etapa de transporte correspondiente a la terrestre se debe realizar en tractomulas o volquetas doble troque según se establezcan las distancias de las plantas al patio de acopio, la segunda etapa de transporte a puerto marítimo, se debe realizar según la conformación presentada en la Figura 19 con un tren de 100 vagones y finalmente se deberá transportar la carga vía terrestre en tractomulas o volquetas desde el centro de acopio de destino hasta los puertos de exportación.

Debido a que el sistema férreo se encuentra aún en una etapa de desarrollo y que el ferrocarril del Carare apenas está en etapa de evaluación, la determinación de los costos del flete de este sistema no se pueden calcular sobre una base real. Por tal motivo los costos estimados de la alternativa Terrestre – Férrea fueron calculados siguiendo los costos resultantes del trabajo realizado por Márquez, 2011, en su modelo de optimización que se sustentan en la metodología y los resultados del estudio técnico sectorial del Ministerio de Minas , 2011, que considera el tipo de locomotora, tipo de vagones, producto transportado, distancias y composición del flujo del tráfico y que a su vez contrastan con lo expuesto por la Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2012, y con la información del estudio de mercado realizado en campo donde se pudo determinar que los costos expuestos por Marquez, 2011, pueden ser usados para el calculo del costo por kilometro por tonelada transportada. El costo determinado en promedio para el modo férreo fue de \$52.60/Ton-km.

Se usó como centro de acopio inicial La Isla (cerca al municipio de Lenguazaque), en el cual se recibirá el coque metalúrgico procedente de las plantas de producción vía terrestre con una distancia promedio aproximada de 10 km, desde La Isla hasta el fin de la concesión del Carare en La Vizcaína una distancia de 283 km y desde La Vizcaína hasta un centro de acopio final en Ciénaga con una distancia aproximada de 530 km de vía férrea y finalmente desde Ciénaga hasta el

Puerto de Barranquilla vía terrestre con una distancia de 65 km (CONPES 3512, 2008) (Ministerio de Minas y Energía, 2011) (CORPOCARARE, 2009).

Se contempla que la ruta férrea se hace sin trasbordos de trenes en el tramo La Isla – Ciénaga, lo cual quiere decir que no se consideran restricciones de capacidad, de permisos o cualquier impedimento en el uso de la vía férrea en ninguno de los tramos y que la concesión FENOCO está dispuesta a que se usen sus instalaciones para el paso de los trenes. También se considera que la red férrea opera bajo condiciones ideales de transporte de carga, obteniendo tanto carga en el trayecto de ida como de regreso a fin de lograr los costos esperados en la tarifa.

Con las distancias y el costo identificado por kilómetro para la ruta férrea se obtuvo el costo total de este transporte y se asumieron costos de fletes terrestres locales como punto de referencia para el cálculo del costo en este modo de transporte. Sin embargo al costo de transporte se le deben sumar los costos por el uso de las instalaciones para el cargue y descargue del coque a los vagones del tren en el caso del patio de acopio en origen en La Isla y a los vehículos en el caso del patio de acopio de destino en Ciénaga. Para el cálculo de los costos de uso de instalaciones se estimó la misma tarifa del puerto fluvial de \$8,000/Ton, esto aplica para el patio de origen en La Isla y para patio de destino en Ciénaga. No se consideran costos de descargue de los vehículos en puerto ya que éstos hacen parte de la tarifa integral del puerto de exportación y no se consideran en ningún escenario. La Tabla 15 resume el costo total de la alternativa Terrestre – Férrea.

Tabla 15. Costo Transporte Terrestre - Férreo

Tramo	Costo - \$/Ton-km	Distancia - km	Costo Total - \$/Ton
Planta - La Isla	NA	10	\$ 4,000
La Isla - Ciénaga	\$ 52.60	810	\$ 42,606
Ciénaga - SPRB	NA	65	\$ 22,000
Uso Instalaciones	NA	NA	\$ 16,000
Total			\$ 84,606

Fuente: elaboración propia partir de entrevistas, visitas de campo y (Agencia Nacional de Infraestructura, 2013)

Al igual que en la alternativa Terrestre – Fluvial, existe un ahorro con respecto a la tarifa promedio del transporte cuando se realiza únicamente terrestre, no

obstante se debe determinar el impacto en la calidad del coque metalúrgico para identificar el beneficio real.

8.3.7. Transporte Terrestre – Férreo - Fluvial

La alternativa Terrestre – Férrea – Fluvial, pretende analizar el impacto de las operaciones en caso de ser posible una opción que una los tres modos de transporte. Para esta alternativa se plantea la posibilidad que la vía férrea cruce por el patio de acopio del puerto fluvial, en este caso Barrancabermeja, de tal manera que se minimicen los trasbordos y el uso de vehículos vía terrestre y se logre unir el sistema férreo con el fluvial (Márquez, 2011).

En esta opción se realizaría el transporte terrestre desde las plantas de producción hasta el centro de acopio de La Isla, para así tomar el sistema férreo hasta el puerto fluvial de Barrancabermeja con una distancia de 300 km, donde usaría la vía fluvial hasta el puerto de Barranquilla. En la Tabla 16 se resume el costo total para esta alternativa multimodal.

Para la elaboración de la tabla de costos se tomaron las premisas definidas en cada una de las alternativas previamente vistas y se resumen a continuación:

Tabla 16. Costo Transporte Terrestre – Férreo – Fluvial

Actividad	Costo - \$/Ton
Transporte Terrestre (Planta - La Isla)	\$ 4,000
Uso Puerto Seco	\$ 8,000
Transporte Férreo (La Isla - Barrancabermeja)	\$ 15,780
Uso Puerto Fluvial	\$ 8,000
Transporte Fluvial (Barrancabermeja - Barranquilla)	\$ 23,000
Descargue en Puerto Marítimo	\$ 8,000
Total	\$ 66,780

Fuente: elaboración propia partir de entrevistas, visitas de campo, (Agencia Nacional de Infraestructura, 2013) y (Ministerio de Minas y Energía, 2011)

Como se puede apreciar, en caso de lograrse una combinación multimodal, el costo de esta alternativa es la que mayor beneficio presenta, ya que se minimiza el uso del transporte terrestre y se limita sólo a la primera etapa de la cadena. Adicionalmente se considera que el transporte férreo mantiene sus costos unitarios a pesar de disminuir el trayecto, lo cual beneficia la alternativa.

9. Impacto de las Estrategias de Distribución en la Calidad del Coque Metalúrgico

En este capítulo se analiza el impacto que tienen las diferentes estrategias de distribución en la calidad del coque metalúrgico. Comenzando por la estrategia de distribución terrestre y finalizando con las estrategias multimodales.

9.1. Impacto en la Calidad del Coque Metalúrgico en la Estrategia Actual

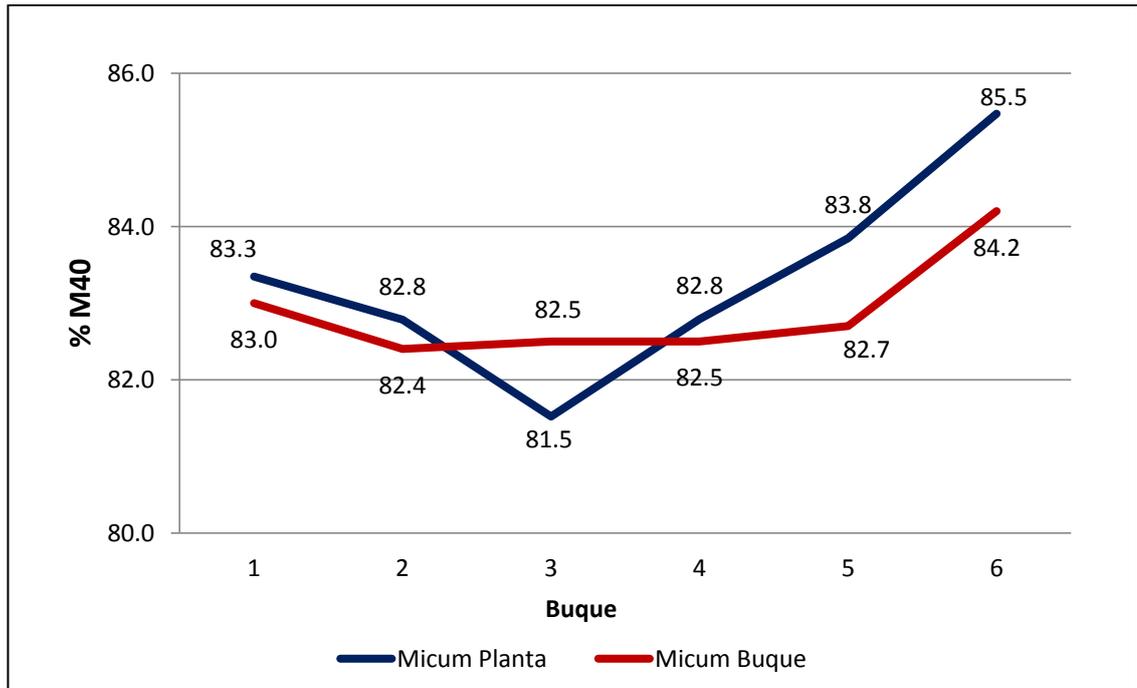
Como se pudo evidenciar en la caracterización de la cadena logística del coque metalúrgico en Colombia, la estrategia de distribución actualmente utilizada por las compañías exportadoras de este material, es la estrategia 100% terrestre. Por lo tanto y para conocer el impacto que tiene esta estrategia en el coque metalúrgico, se realizó un censo de los buques exportados por la compañía C.I. Carbocoque S.A. durante el año 2013 de este producto, 6 buques en total.

Se consultaron los resultados de los análisis de laboratorio del despacho del coque metalúrgico de las plantas y se compararon con los análisis de laboratorio del embarque en puerto para cada buque. Los resultados de los análisis de calidad fueron suministrados por el área de calidad de la compañía (ver Anexo 1).

Es de aclarar que los análisis en las plantas son realizados por personal especializado y en el laboratorio de la empresa, el cual cuenta con todos los equipos necesarios y requeridos para la toma de estos análisis (Figura 28) y los análisis en puerto para el despacho de los buques es realizado por un laboratorio externo acreditado internacionalmente (ver Anexo 9).

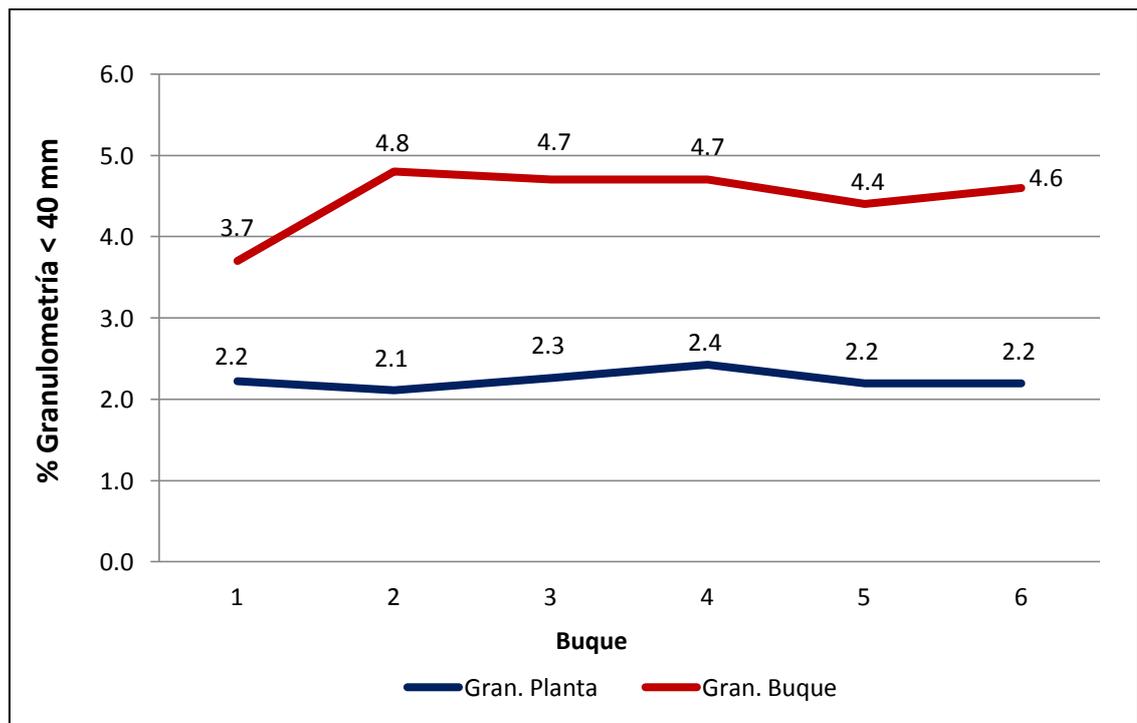
Como se menciona en el numeral 6.3.2 del capítulo 6, los parámetros de calidad evaluados en este estudio son el de Granulometría y Micum 40 y los resultados obtenidos de la consulta se pueden apreciar en las Figuras 29 – 30. Adicionalmente en el Anexo 1 se detallan los resultados.

Figura 25. Comparativo Análisis Micum 40 - Coque Metalúrgico



Fuente: elaboración propia a partir de información de C.I. CARBCOOQUE S.A.

Figura 26. Comparativo Análisis Granulométrico- Coque Metalúrgico



Fuente: elaboración propia a partir de información de C.I. CARBCOOQUE S.A.

Como se puede observar en las gráficas anteriores, el impacto de la estrategia de distribución terrestre tiene un efecto en la calidad del coque metalúrgico entre el despachado de planta y el embarcado en puerto tanto en el resultado del Micum 40 como en el de la Granulometría.

Para el caso del Micum 40, el buque número 6 es el que presenta mayor variación, pues el porcentaje en planta disminuye en un 1.30% con respecto al embarcado en puerto, aunque el promedio para todos los buques es solo de 0.40%. El buque 3 presenta un caso atípico pues su porcentaje de Micum 40 no disminuye sino que aumenta y esto no es coherente y está por fuera de la estadística, lo que indica un posible error en alguna de las pruebas del laboratorio en planta. Si se extrae este buque de la muestra el promedio de porcentaje de disminución del índice Micum 40 aumentaría a 0.70%.

Para el caso de la Granulometría, el promedio del incremento del porcentaje de degradación del coque metalúrgico entre lo despachado de la planta y el embarque en puerto es de 2.20% de la porción inferior a 40 mm.

Se puede concluir entonces, que para la estrategia de distribución terrestre donde se carga el coque en la planta y se descarga en puerto, el coque metalúrgico disminuye en promedio su calidad en 0.70% para el caso del Micum 40 y 2.20% para la Granulometría. Sin embargo estos porcentajes corresponden a dos movimientos, cargue en planta y descargue en el patio del puerto de exportación, lo que quiere decir que el porcentaje que se afecta la calidad del coque metalúrgico por movimiento para esta estrategia es de 0.35% para el Micum 40 y 1.10% para el porcentaje de Granulometría menor a 40 mm.

De otra parte los resultados expuestos en este capítulo sirven de base comparativa en el desarrollo de la experimentación que se realizará en el siguiente capítulo.

9.2. Experimentación en Campo

Como se ha venido mencionando, el coque metalúrgico debe conservar una calidad específica para que pueda ser comercializado en el mercado internacional y así poder ser utilizado en la elaboración del acero dentro del alto horno.

Para poder determinar el impacto real por efecto de las operaciones de cargue y descargue del producto en una operación multimodal, se decidió realizar una experimentación en campo a fin de representar las operaciones descritas en el numeral 9.3.2. y obtener el porcentaje de degradación del producto. Algunos expertos estiman que el porcentaje de degradación del coque metalúrgico en cuanto a granulometría por efecto de la manipulación puede estar entre el 2% y el 5% por cada movimiento, aunque en la medida que el coque se manipula este también tiende a estabilizarse, lo cual disminuye el porcentaje de degradación por evento (Goscinski, 2013) (Todoschuk, 2013). También manifiestan que una experimentación en planta como la que se plantea en este trabajo puede indicar un resultado mucho más acertado que permita realizar la evaluación de las estrategias de manera adecuada (McGuire, 2013) (Todoschuk, 2013).

La experimentación ha sido la mejor vía para acercarse a un resultado final de manera apropiada, varios autores han dejado en evidencia la necesidad de la experimentación como medio de comprobación o acercamiento a resultados propuestos o esperados, demostrando por ejemplo cómo a través de la experimentación estratégica las empresas alcanzan una curva de aprendizaje más rápida y en un periodo de tiempo más corto y esto explica en gran medida el por qué unas empresas tienen éxito mientras otras fracasan (Nicholls-Nixon, et al., 2000). Otros autores distinguen una serie de funciones de la experimentación y que a menudo están estrechamente relacionadas (Papadopoulos, et al., 2010):

- Conjeturar (buscando un modelo inductivo, generalización, etc.)
- Verificar (obtener certeza sobre una afirmación o conjetura)
- Refutar, esta tiene dos ramificaciones, una refutación mundial que se refiere a refutar una declaración que es falsa generando un contra-ejemplo y refutación heurística que se refiere a una reformulación o refinación de una declaración verdadera,
- Comprender (el significado de una proposición, concepto o definición o ayudar con el descubrimiento de una prueba)

Para efectos de este trabajo se puede decir que la experimentación tiene como objeto la “Comprensión” para determinar o comprender mejor el comportamiento del coque a lo largo de una serie de movimientos de cargue y descargue. Sin embargo y como lo menciona Papadopoulos & Iatridou, (2010), está relacionada con las demás funciones, pues pretende verificar una conjetura

que se tiene sobre el comportamiento del coque metalúrgico por manipulación que oscila entre el 2% y el 5% por cada movimiento.

De hecho la experimentación puede contribuir a descubrir otros problemas ocultos que no se consideraban en un principio y que en la ejecución pueden irse presentando o puede incluso aclarar dudas que se tenían y que en la experimentación resultan mejor de lo esperado (De Villiers, 2010).

Gabler & Poschke, (2013), mencionan que en promoción de la productividad, la experimentación puede considerarse como una forma de Investigación y Desarrollo (I+D), de hecho es interpretado de forma generalizada como I+D, que al final es quien en esencia dirige la experimentación. Sin embargo es posible que algunas empresas que no tengan I+D puedan innovar a partir de la experimentación y mejorar su productividad.

Para el desarrollo de la experimentación en campo, se contó con la colaboración de la compañía C.I. Carbocoque S.A. la cual en cabeza de sus directivos permitieron la realización de esta actividad dentro de sus instalaciones, el uso de los equipos, laboratorio y asesoría de personal especializado.

9.3. Materiales y Métodos

El presente capítulo expone las características del coque metalúrgico y los métodos utilizados para la realización de la experimentación en campo.

9.3.1. Coque Metalúrgico

El coque utilizado para la experimentación en campo fue suministrado por la empresa C.I. Carbocoque S.A., el cual cumple con los parámetros de calidad establecidos en el mercado internacional para el coque metalúrgico.

Se utilizaron aproximadamente 700 toneladas de coque metalúrgico apiladas como se puede observar en la Figura 25.

Figura 27. Pilas de Coque Metalúrgico



Fuente: propia a partir de experimentación en campo

9.3.2. Manipulación del Coque Metalúrgico

Se estableció mediante consulta a expertos que una manera adecuada para acercarse a lo que puede suceder en la práctica es movilizar el coque metalúrgico en vehículos y equipos que se asemejen a los utilizados en una operación real. Además que no se permita una operación delicada de los equipos y del producto, sino simular una operación bajo presión, identificar la cantidad de actividades de manejo, cargue y descargue del coque a los vehículos y al suelo y establecer la superficie en la cual se depositaría para su almacenamiento temporal (ya sea sobre cemento o sobre carbón) (Todoschuk, 2013) (McGuire, 2013).

Para dar el mayor cumplimiento a lo anterior se estableció que la superficie donde se descargaría el coque metalúrgico sería sobre una capa o “carpet” de finos de coque la cual se usa frecuentemente para adecuar los patios de acopio donde se almacena el coque metalúrgico. Se determinó que el número máximo de caídas o impactos del coque metalúrgico sería de 6, correspondientes a las alternativas Terrestre – Férrea y Terrestre – Férrea – Fluvial, las cuales corresponden a las actividades de: 1. Cargue a vehículo en planta, 2. Descargue en patio de acopio (ya sea en puerto fluvial o en puerto seco para cargue al tren), 3. Cargue a Barcaza o

Vagón, 4. Descargue en patio de acopio (ya sea en puerto marítimo o en puerto seco en caso del tren), 5. Cargue a barcaza o vehículo en puerto seco, 6. Descargue en puerto marítimo.

Para la manipulación del coque metalúrgico se utilizaron cargadores frontales KOMATZU WA 250 y para el transporte volquetas doble troque MAK y KODIAK como los que se pueden observar en la Figura 26. El coque fue transportado de un patio de acopio a otro con una distancia de 150 metros aproximadamente entre sí.

EL trabajo consistió en cargar el producto por medio del cargador en las volquetas para que estas transportaran el producto de un lugar a otro hasta completar las 6 actividades mencionadas. Estas actividades pretenden representar el impacto de la operación del cargador al momento de recolectar el material del suelo y el impacto por caída en altura desde el cargador al volco de la volqueta y de esta al suelo al momento del descargue en el patio destinado. Al final de cada operación se tomaron muestras del producto siguiendo la norma ASTM D346 para llevar al laboratorio y determinar los porcentajes de calidad tanto en MICUM 40 como en porcentaje granulométrico.

Figura 28. Equipos Utilizados en la Movilización de Coque Metalúrgico



Fuente: propia a partir de experimentación en campo.

La Figura 27 muestra el descargue del coque metalúrgico en la experimentación.

Figura 29. Descargue de Coque Metalúrgico



Fuente: propia a partir de experimentación en campo.

9.4. Toma de Muestras y Análisis De Calidad

En la pila inicial de coque seleccionada y durante cada etapa de descargue de las volquetas del coque metalúrgico al suelo dentro del desarrollo de la experimentación, se recolectaron muestras para realizar los análisis de calidad que permitieran identificar el porcentaje de degradación y disminución del MICUM 40 en cada una de las actividades y así poder determinar la afectación de calidad acumulada en todo el proceso (ver Anexo 3).

Para la recolección y preparación de las muestras, se siguió la norma ASTM D346 “Standard Practice for Collection and Preparation of Coke Samples for Laboratory Analysis” que tiene como alcance: “cubrir los procedimientos para la recolección y reducción de muestras de coque para ser utilizadas en las pruebas físicas, análisis químicos y determinación de la humedad total” (ASTM International, 2004) (ver Anexo 4).

Para las pruebas físicas de granulometría y MICUM 40, se siguieron las determinaciones de las normas ASTM D293 “Standard Test for the Sieve Analysis of Coke” que tiene como alcance: “describir la separación de una muestra de

coque en fracciones de tamaño definido y expresar dichas fracciones como un porcentaje en peso de la muestra bruta” y la norma ASTM D3402 “Standard Test Method for Tumbler Test for Coke” que tiene como alcance: “describir el procedimiento para la obtención de una medida relativa de la resistencia a la degradación del coque por impacto y abrasión” respectivamente (ASTM International, 2004) (ver Anexos 5, 6, 7 y 8).

Las pruebas de calidad de la experimentación se realizaron en el laboratorio de C.I. Carbocoque S.A., el cual está equipado con los dispositivos necesarios y requeridos dentro de las normas mencionadas y dirigidas y presentadas por el Jefe de Laboratorio de la compañía especialista en el análisis de calidad de coque metalúrgico. En La Figura 28 se pueden observar los principales equipos utilizados.

Figura 30. Equipos Para Pruebas Físicas de Coque (1. Tambor Rotatorio; 2. Báscula; 3. Tamiz)



Fuente: propia a partir de experimentación en campo.

9.5. Resultados

En esta etapa se comparan los resultados obtenidos de la experimentación realizada en campo en cada uno de los descargues del coque metalúrgico, representando los impactos que podría tener en una operación multimodal por efecto de las operaciones de cargue y descargue. La Tabla 17 detalla cada una de las actividades realizadas, donde se relaciona a que etapa dentro de la cadena corresponde cada movimiento que se está representando y los respectivos resultados de las pruebas (ver Anexo 2).

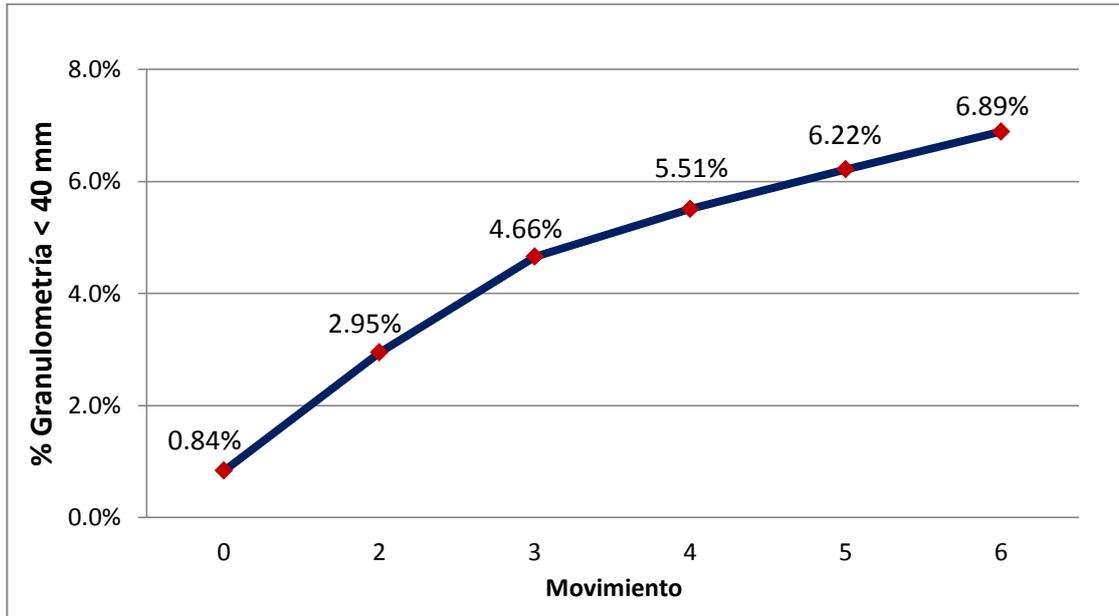
Tabla 17. Detalle de Actividades y Resultados Pruebas Físicas en la Experimentación

Tipo de Movimiento	Simulación	Movimiento	% Micum 40	% Granulometría < 40 mm
Pila Inicial	-	0	85.42%	0.84%
Cargue a Volqueta	Cargue a Tractomula	1	-	-
Descargue en patio	Descargue Patio Puerto (Fluvial o Seco)	2	84.62%	2.95%
Cargue a Volqueta	-	-	-	-
Descargue en patio	Cargue a Barcaza o Vagón	3	84.05%	4.66%
Cargue a Volqueta	-	-	-	-
Descargue en patio	Descargue Patio (Marítimo o Seco)	4	83.63%	5.51%
Cargue a Volqueta	-	-	-	-
Descargue en patio	Cargue a Barcaza o Vehículo	5	83.24%	6.22%
Cargue a Volqueta	-	-	-	-
Descargue en patio	Descargue Patio Puerto Marítimo	6	82.98%	6.89%

Fuente: elaboración propia a partir de experimentación en campo y resultados de laboratorio.

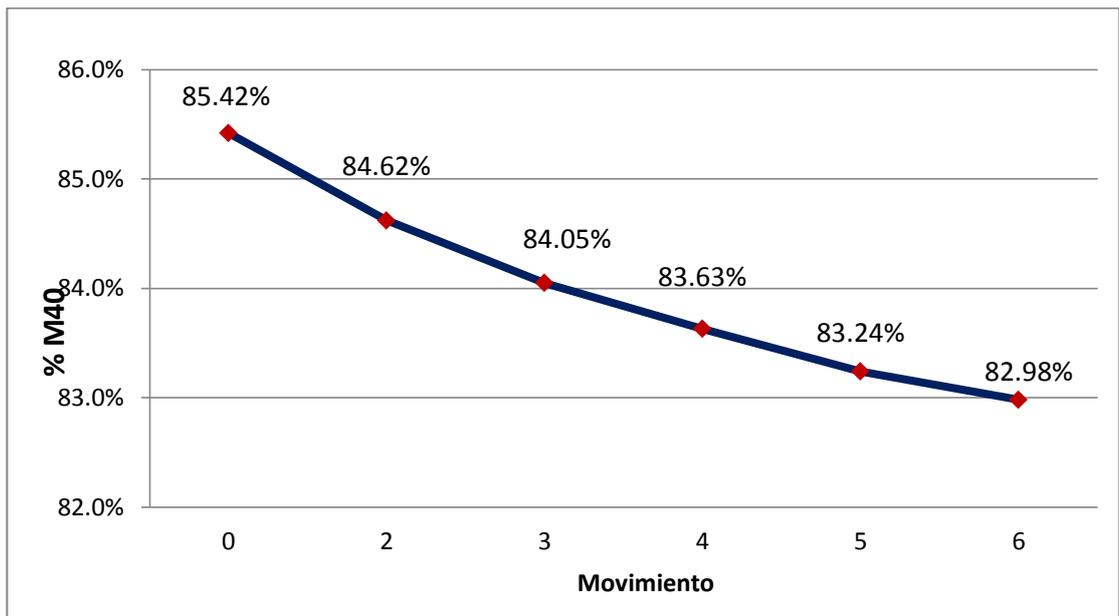
De la Tabla 16, se procedió a representar gráficamente los datos de las pruebas realizadas para tener una mejor comprensión de los resultados obtenidos y se presentan a continuación:

Figura 31. Resultados Granulométricos menor a 40 mm



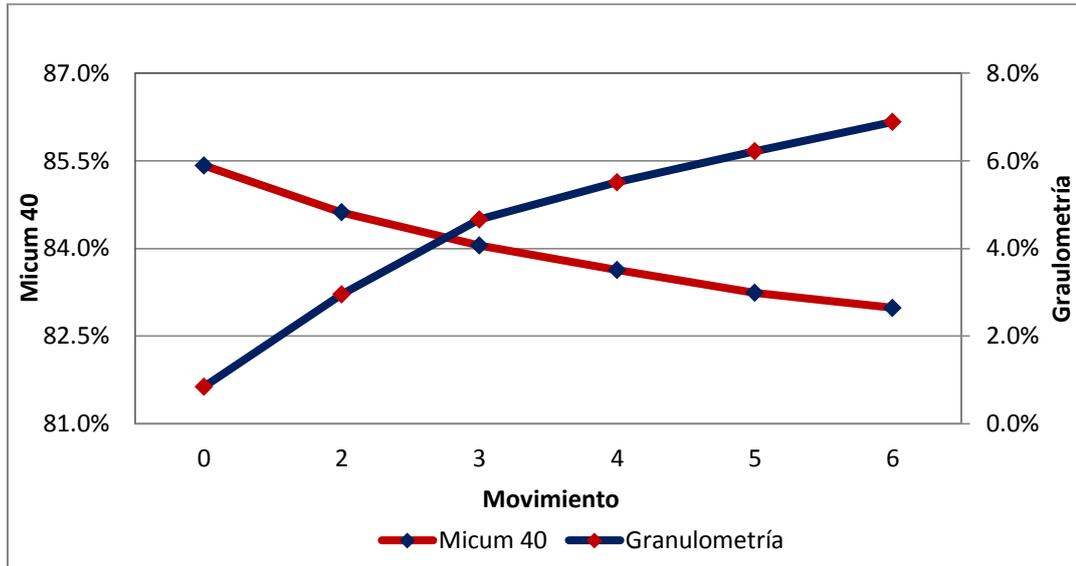
Fuente: elaboración propia a partir de experimentación en campo.

Figura 32. Resultados Micum 40



Fuente: elaboración propia a partir de experimentación en campo.

Figura 33. Comparativo Resultados Micum vs Granulometría



Fuente: elaboración propia a partir de experimentación en campo.

En la Figura 31 se puede apreciar el comportamiento del porcentaje granulométrico menor a 40 mm, el cual aumenta en la medida que se realizan mayores movimientos y el coque se manipula, pasando de un porcentaje de 0.84% en el punto de partida de la pila inicial a 6.89% en el último movimiento. Lo anterior indica que el porcentaje de degradación en todo el proceso se aumentó en 6.05%. El promedio de aumento en el porcentaje granulométrico menor a 40 mm en la simulación fue de 1.21%, lo que contrasta con la información obtenida en los análisis del transporte 100% terrestre que es de 1.10% en promedio. En conclusión el promedio de degradación del coque en múltiples movimientos es de 1.21%.

Algo similar sucede con el índice Micum 40, pero en este caso su porcentaje se disminuye en la medida que el coque metalúrgico es manipulado, pasando de 85.42% en el punto de partida de la pila inicial a 82.98% en el último descargue, lo que indica que el porcentaje de disminución del Micum 40 en todo el proceso fue de 3.44% y el promedio fue de 0.49% que también contrasta con los resultados del análisis 100% Terrestre de 0.35%.

Como se puede evidenciar en la Figura 33, el índice Micum 40 es dependiente del porcentaje de granulometría que adquiera el coque metalúrgico, adicionalmente

se puede concluir que estos índices son inversamente proporcionales, puesto que si el porcentaje granulométrico aumenta el porcentaje del Micum 40 disminuye.

10. Evaluación de Estrategias

En este capítulo se evalúa cada una de las alternativas descritas en los capítulos anteriores, a fin de determinar cuál es la que ofrece los mejores resultados en cuanto a costo/calidad se refiere. Comenzando por la estrategia actual 100% terrestre hasta las alternativas potenciales multimodales Terrestre – Fluvial, Terrestre – Férrea y Terrestre – Férrea – Fluvial, analizado los costos de cada una de ellas y comparando los efectos de la experimentación en planta para encontrar las posibles implicaciones que en cuanto a calidad del coque metalúrgico puedan resultar.

En la Tabla 18 se describe cada una de las estrategias analizadas en el presente trabajo y se resumen las ventajas, desventajas, costos y el impacto final en la calidad del coque metalúrgico para ser embarcado para su exportación. Como se puede observar en esta tabla, en ninguna de las alternativas el índice Micum 40 está por debajo de los requerimientos que exige el mercado internacional, mientras que el porcentaje de granulometría menor a 40 mm sí sobrepasa el límite máximo permitido sin penalización, 1.22% para el caso del transporte Terrestre – Fluvial y 1.89% para los casos Terrestre – Férreo y Terrestre – Férreo – Fluvial. En ambos casos se debe realizar la evaluación de costos para determinar el impacto de la penalidad en el precio final del coque FOB el cual será asignado como mayor costo del transporte, ya que es la causa de la desviación en los porcentajes de calidad establecidos.

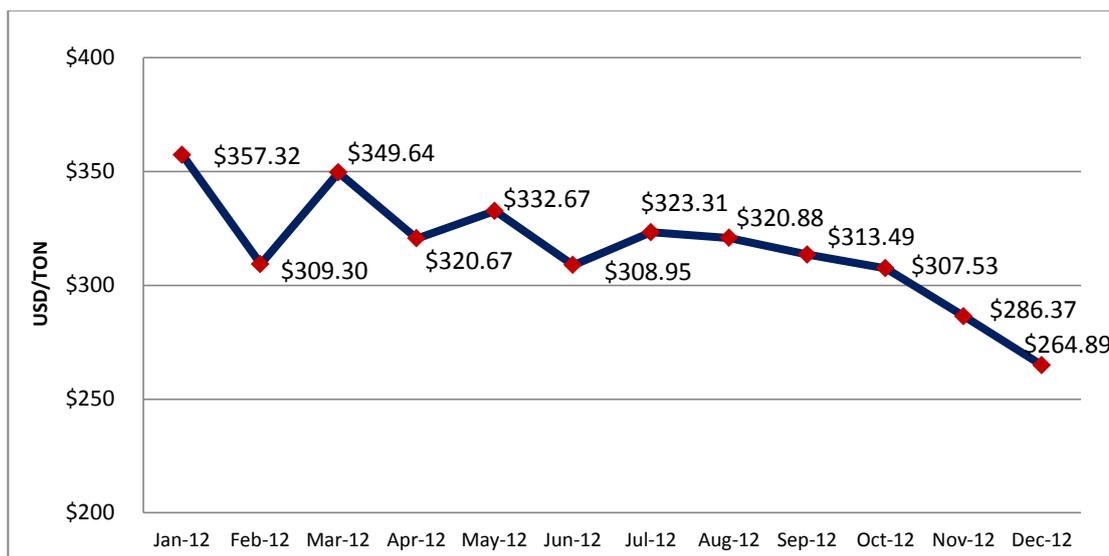
Las exigencias de calidad del mercado internacional permiten que el coque metalúrgico puede contener hasta el 5% máximo de granulometría menor a 40 mm, de lo contrario se penalizará el 1% sobre el precio de venta FOB por tonelada por cada 1% adicional o su respectiva proporción. La Figura 34 muestra los precios de venta FOB del coque metalúrgico en Colombia para el año 2012 (Centro Virtual de Negocios, 2012).

Tabla 18. Impacto Estrategias de Distribución en el Coque Metalúrgico

Estrategia Distribución	Ventajas	Desventajas	Costo (\$/ton)	Movimientos	Calidad a Buque
Terrestre (Actual)	<ul style="list-style-type: none"> - Dos movimientos (descargue en puerto y cargue a buque) - Disponibilidad y Acceso - Versatilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de Carga - Velocidad limitada - Capacidad vías 	\$90,000	2	<ul style="list-style-type: none"> - Micum 40: 84.2% - Granulometría: 4.60%
Terrestre – Fluvial	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de Carga - Continuidad - Competitividad 	<ul style="list-style-type: none"> - Accesibilidad - Múltiples Movimientos - Velocidad limitada 	\$70,000	5	<ul style="list-style-type: none"> - Micum 40: 83.2% - Granulometría: 6.22%
Terrestre – Férrea	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de Carga - Velocidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibilidad - Disponibilidad y Acceso - Múltiples Movimientos 	\$84,600	6	<ul style="list-style-type: none"> - Micum 40: 82.9% - Granulometría: 6,89%
Terrestre – Férrea – Fluvial	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de Carga - Velocidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibilidad - Disponibilidad y Acceso - Múltiples Movimientos 	\$67,000	6	<ul style="list-style-type: none"> - Micum 40: 82.9% - Granulometría: 6.89%

Fuente: elaboración propia

Figura 34. Precio de Venta Coque Metalúrgico Colombiano en 2012



Fuente: elaboración propia a partir de (Centro Virtual de Negocios, 2012)

Del análisis de los datos de la figura anterior, incluyendo las toneladas vendidas en cada mes, se puede concluir que el precio promedio de venta FOB para el coque metalúrgico colombiano en el año 2012 fue de USD 320.61 por tonelada, precio que se utilizará como base para el cálculo de las penalidades. Lo anterior quiere decir que para el caso del transporte Terrestre – Fluvial, se le debe adicionar al costo del transporte el 1.22% sobre este precio, o sea USD 3.91 por cada tonelada, que convertidos a pesos colombianos a la tasa de cambio promedio del año 2012 de \$1,798.23 por dólar, corresponderían a \$7,034 y que serán sumados al costo de transporte (Banco de La República, 2014). Para el caso de los transportes Terrestre – Férreo y Terrestre – Férreo – Fluvial, se debe adicionar el 1.98% sobre el mismo precio promedio, o sea USD 6.06 que convertidos a pesos colombianos aplicando la misma tasa de cambio, corresponden a \$10,896 y que también serán sumados al costo de transporte en estas alternativas.

Como se puede apreciar en la Tabla 19, las penalidades por el efecto en la calidad del coque metalúrgico afectan directamente el costo de transporte y por ende cada estrategia de distribución. Si bien la estrategia Terrestre – Férrea – Fluvial es la más económica antes de la afectación en la calidad del coque metalúrgico, luego de aplicar la penalidad correspondiente se convierte aún más costosa que la Terrestre – Fluvial. La estrategia Terrestre – Férrea queda inclusive por encima del costo de la estrategia actual 100% terrestre. En conclusión la estrategia de distribución para el coque metalúrgico desde el interior del país hacia el puerto de Barranquilla que mejor relación costo/calidad presenta es la Terrestre – Fluvial

con \$77,034 por tonelada métrica y una afectación en la granulometría de 1.22% superior al 5%.

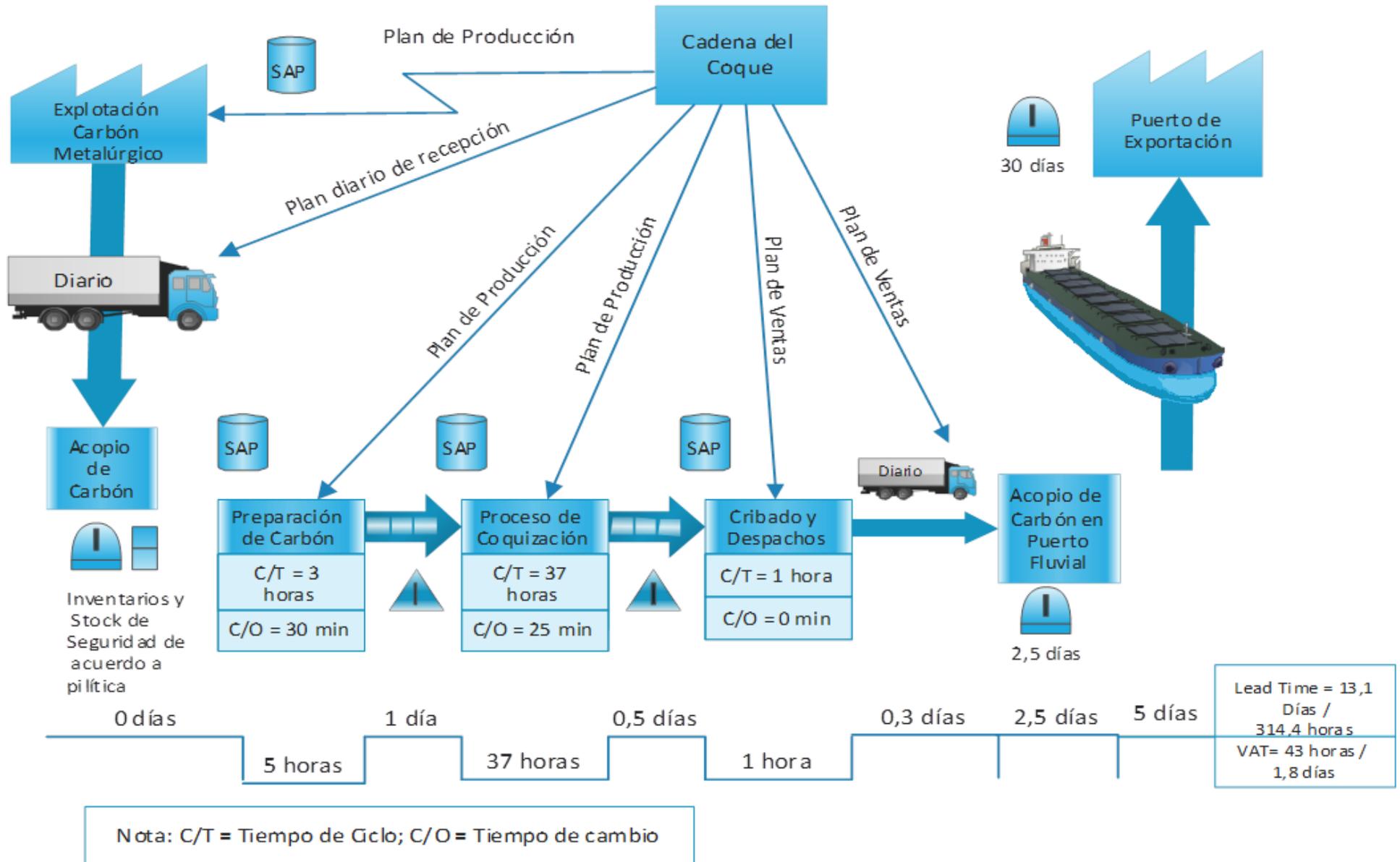
Tabla 19. Impacto de la Calidad en el Costo de Transporte

Estrategia Distribución	Costo - \$/ton	Penalidad	Costo Total - \$/ton
Terrestre	\$90,000	NA	\$90,000
Terrestre – Fluvial	\$70,000	\$7,034	\$77,034
Terrestre – Férrea	\$84,600	\$10,896	\$95,496
Terrestre – Férrea – Fluvial	\$67,000	\$10,896	\$77,896

Fuente: elaboración propia

Luego del análisis de las estrategias y definir que la estrategia Terrestre – Fluvial es la que mayor beneficio económico presenta, la nueva cadena del coque representado con el Mapa de Flujo de Valor se representa en la Figura 35.

Figura 35. Cadena del Coque – Value Stream Mapping para 1 tonelada de coque puesta en puerto de exportación.



Fuente: elaboración propia a partir de información recolectada de (Womack, 2012), C.I. Carbocoque S.A

11. Conclusiones, Limitaciones y Trabajos Futuros

11.1. Conclusiones

La industria minera y de coquización colombiana que se desarrolla en el interior del país, cuenta con un gran potencial de desarrollo pero se encuentra limitada debido a la falta de infraestructura y planes de desarrollo que permitan sacar estos productos hacia los puertos de exportación para venderlos en el mercado internacional.

Las estrategias de distribución evaluadas en este trabajo permiten descubrir el gran potencial que se puede desarrollar en el territorio colombiano, no solo para el transporte de coque metalúrgico, sino también para otros productos que se producen en el interior del país con destino al mercado internacional. Adicionalmente se ratifica lo expuesto en la literatura, demostrando que el transporte multimodal efectivamente puede coexistir satisfactoriamente en la medida en que se haga un uso eficiente de cada uno de los modos de transporte y siempre y cuando no exista interferencia entre ellos.

Con la caracterización de la cadena logística del coque en Colombia planteada en el objetivo específico 1 y desarrollado en el capítulo 8, se encontró que el transporte de este producto se realiza 100% terrestre y con limitaciones de capacidad e infraestructura, sustentado en los estudios de investigación, información recolectada de la UPME, Centro Virtual de Negocios y entrevistas con las compañías exportadoras y de transporte de carga.

El desarrollo de los objetivos específicos 2 y 4 en el capítulo 8, numerales 8.2.4 y 8.3 permitió determinar que la estrategia de distribución para transportar el coque metalúrgico desde el interior del país hasta el puerto de Barranquilla que mejor relación costo/calidad presenta es la Terrestre – Fluvial, puesto que su costo por tonelada es de \$77,034 y solo se afecta la granulometría en 1.22%. Sin embargo esta alternativa es viable en la medida en que los fletes terrestres mantengan un promedio igual o superior a \$90,000 por tonelada. De lo contrario por efectos de calidad, el transporte terrestre a pesar de su ineficiencia sigue siendo una alternativa viable.

Se concluye que un ahorro potencial de casi \$13,000 por tonelada para las empresas exportadoras de carbón y coque de la región cundiboyacense, con una exportación en el 2011 de 1,511 millones de toneladas, representa un ahorro cercano a los \$19,600 millones que pueden ser invertidos en infraestructura, tecnificación, desarrollo social, entre otros, lo que mejoraría las condiciones y la competitividad tanto de las empresas de la región como de la región misma.

La experimentación planteada y desarrollada en el capítulo 9 con la cual se dio cumplimiento al objetivo específico 3, permitió determinar el impacto de las operaciones logísticas en la calidad del coque metalúrgico y las cuales se observan en la Tabla 18 y evidencian la novedad de la investigación, permitiendo proporcionar un punto de partida para futuras investigaciones en la disminución de la calidad del coque metalúrgico debido a los movimientos de carga y descarga. Se resalta la importancia del uso de las normas internacionales de la ASTM en los procedimientos de toma de muestras y análisis de laboratorio que soportan los resultados y le dan relevancia a la investigación. De igual manera a través de entrevistas y visitas de campo, se determinó el impacto de las operaciones logísticas en el costo del coque metalúrgico expuestas en la Tabla 19.

También se puede concluir de la experimentación, que el índice granulométrico es inversamente proporcional al índice Micum 40, puesto que si éste aumenta, el Micum 40 disminuye.

Se concluye que el Río Magdalena es una vía trascendental para el desarrollo de estrategias de transporte de carga desde el interior del país hacia los puertos del Atlántico. Adicionalmente el desarrollo de los proyectos ferroviarios deben ponerse en marcha y así soportar el transporte terrestre que cada vez se ve más congestionado y con menores eficiencias. Es importante resaltar la capacidad de carga del transporte férreo en Colombia, puesto que con las vías actuales al ser de trocha angosta, la capacidad de carga y velocidad de desplazamiento se disminuyen.

En la medida en que los planes de desarrollo en infraestructura férrea y fluvial no sean una realidad, las compañías exportadoras de carbón y coque deberán seguir dependiendo del transporte terrestre como única alternativa para transportar sus productos hacia los puertos de exportación con un costo que representa más del 17% sobre el precio de venta del coque metalúrgico.

11.2. Limitaciones del Estudio

Para la elaboración de este trabajo se encontraron algunas limitaciones importantes mencionar y que hacen que el estudio que se presenta sea de gran utilidad para trabajos futuros y de gran relevancia a nivel científico:

- Literatura de carácter científico mínima relacionada con el coque metalúrgico como objeto de estudio, principalmente en lo que tiene que ver con las características de calidad y las estrategias de distribución utilizadas.
- Dentro de los estudios encontrados en la literatura científica no se encontraron estudios relacionados con el impacto en la calidad del coque por efecto del transporte y tampoco alguno que comparara la relación entre la calidad y el costo. Esto demuestra la relevancia científica del trabajo.
- Información de industria reducida debido a la informalidad del sector en Colombia. Aplica tanto para la industria del coque como para la industria del transporte de carga.
- Información sobre el comportamiento del coque en la cadena de distribución no encontrada.

A pesar de contar con la ayuda de una empresa importante en el sector, el acceso a la información propia de las empresas exportadoras de coque metalúrgico es limitada, pues la consideran confidencial y con un riesgo de alto impacto, lo que limita el análisis de información a nivel de industria y puede explicar la reducida literatura al respecto.

11.3. Trabajos Futuros

A partir de este trabajo se pueden desarrollar estudios más profundos en cuanto al transporte y manejo de coque metalúrgico, no solo en Colombia sino también en otros países. A continuación se presentan algunas recomendaciones para futuros estudios para el transporte de coque metalúrgico:

- Incluir dentro del análisis las pérdidas o mermas que por efectos de movimientos se puedan presentar, pues esto podría afectar la cantidad de

coque que sale de las plantas de producción y la que efectivamente llega al puerto de exportación, lo que también debiera ser costeado e incluirse dentro del análisis de las alternativas.

- Estudiar la posibilidad que el desarrollo férreo incluya líneas que atraviesen las plantas de producción y lleguen hasta los puertos de exportación. Esto permitiría no solo un menor costo sino también una menor cantidad de movimientos y por ende una mejor calidad.
- Evaluar dentro de los planes de desarrollo de infraestructura férrea, la capacidad de carga de los vagones y velocidad de desplazamiento de los trenes, pues esto podría resultar en una modificación del tipo de trocha utilizado y plantear la posibilidad de cambiar las vías férreas de trocha angosta a trocha ancha.
- Realizar y documentar un análisis de la cadena de distribución del coque metalúrgico de un buque completo desde la salida de planta hasta la llegada al cliente. Esto permitiría comparar los resultados de la experimentación realizada en este trabajo y ayudaría al desarrollo de la investigación del producto.
- Incluir otras estrategias para el manejo del coque metalúrgico en los patios de acopio y cargue del producto como bandas transportadoras, tolvas de almacenamiento, rampas de descargue, etc. que permitan que la calidad del coque metalúrgico por efectos de los movimientos se conserve al máximo y de esta manera evitar penalidades por disminución en la calidad.

12. Anexos

Anexo 1. Resultados Calidad Censo Buques Coque Metalúrgico C.I. Carbocoque S.A.

C.I. CARBOCOQUE S.A.					
FORMATO DE RESULTADOS DE LABORATORIO POR BUQUE					
Buque	Fecha Embarque	Promedio Despachos		Embarque Buque	
		M ₄₀	Granulometría	M ₄₀	Granulometría
ANATOLI	Feb-13	83.3%	2.2%	83.0%	3.7%
DORADO	Mar-13	82.8%	2.1%	82.4%	4.8%
NIKOS	May-13	81.5%	2.3%	82.5%	4.7%
DRAGONERA	Jun-13	82.8%	2.4%	82.5%	4.7%
AMBITION	Aug-13	83.8%	2.2%	82.7%	4.4%
KANG SHENG	Oct-13	85.5%	2.2%	84.2%	4.6%

Fuente: C.I. Carbocoque S.A., (2014)

Anexo 2. Resultados Calidad Experimentación

C.I. CARBOCOQUE S.A.					
FORMATO DE RESULTADOS DE LABORATORIO					
Muestra	Fecha	M ₄₀	Granulometría	%Cz	%H.T.
1	Feb-14	85.42%	0.84%	N/A	N/A
2	Feb-14	84.62%	2.95%	N/A	N/A
3	Feb-14	84.05%	4.66%	N/A	N/A
4	Feb-14	83.63%	5.51%	N/A	N/A
5	Feb-14	83.24%	6.22%	N/A	N/A
6	Feb-14	82.98%	6.89%	N/A	N/A
7	Feb-14	82.31%	7.84%	N/A	N/A

Fuente: C.I. Carbocoque S.A., (2014)

Anexo 3. Marcación de Pilas de Muestras de Coque Metalúrgico



Fuente: elaboración propia a partir de experimentación en campo.

Anexo 4. Pesaje de Muestras de Coque Metalúrgico



Fuente: elaboración propia a partir de experimentación en campo.

Anexo 5. Análisis de Granulometría (1)



Fuente: elaboración propia a partir de experimentación en campo.

Anexo 6. Análisis de Granulometría (2)



Fuente: elaboración propia a partir de experimentación en campo.

Anexo 7. Análisis MICUM (1)



Fuente: elaboración propia a partir de experimentación en campo.

Anexo 8. Análisis MICUM (2)



Fuente: elaboración propia a partir de experimentación en campo

Anexo 9. Certificado de Análisis de Calidad de Laboratorio Coque Metalúrgico en Puerto de Exportación.

INSPECTORATE COLOMBIA LTDA
 Calle 78 No. 54-11 Piso 10
 Edificio World Trade Center
 Telf. +57(5) 3889450
 Barranquilla, Colombia



INSPECTORATE

Certificate Nbr : 01-21191
 Our Ref : 13191-1
 Page 1 of 1

VESSEL : MV SKM AMBITION
 SHIPPER : [REDACTED]
 CONSIGNEE : [REDACTED]
 PRODUCT : [REDACTED] COLOMBIAN BLAST FURNACE COKE -40-100 mm
 LOADING PORT : S.P.R.B. BARRANQUILLA PORT, COLOMBIA
 DISCHARGE PORT : [REDACTED]
 DATE : AUGUST 16th - 19th, 2013
 QUANTITY : 21,573.17 MT

CERTIFICATE OF SAMPLING AND ANALYSIS

This is to certify that the sampling of this cargo of coke was conducted by INSPECTORATE COLOMBIA LTDA., according to ASTM D-348 standards.

INSPECTORATE COLOMBIA LTDA., certifies that the following analytical results were established by us, at the Laboratory of Cienaga, Colombia in accordance with the applicable ASTM /ISO standards:

CALCULATED COMPOSITE	AS RECEIVED	DRY BASIS
PROXIMATE ANALYSIS		
Total Moisture, pct. wt. (ASTM D-3302)	4.40	
Ash, pct. wt. (ASTM D-3174)		11.22
Volatile matter, pct. wt (ASTM D-3175)		1.46
Sulphur, pct. wt. (ASTM D-4239)		0.67

RESULTS BASED ON AVERAGE WEIGHTED COMPOSITE
 Phosphorus pct in coque (ASTM D2795-95) 0.042

Alkali in coke, 0.200

ASTM D-5341-99 R-10 CRI 19.70 pct CSR 65.30 pct

Below (- 40) mm 4.4 pct
 Above (+100) mm 0.9 pct

ISO Standards (ISO 556-1980):

M 40 82.7 pct

M 10 7.0 pct

For and on behalf of,

Cienaga, Magdalena, Colombia
 August 22nd, 2013

INSPECTORATE COLOMBIA LTDA.

Formato "SAC" REV # 4 03/13

Fuente: C.I. CARBCOOQUE S.A. (2013)

Anexo 10. Costo de Operación del Transporte de Carga Terrestre.



Ministerio de Transporte

REPUBLICA DE COLOMBIA

OFICINA DE REGULACION ECONOMICA - COSTO DE OPERACION DEL TRANSPORTE DE CARGA TERRESTRE

Fecha de consulta: 2015/02/25 23:35:54

Condiciones registradas por el Usuario			
Características del Viaje			
Origen	DUITAMA	Destino	BARRANQUILLA
Tipo de Carga	General		
Características del Vehículo			
Configuración	CS		
Tiempos logísticos acordados			
Horas acordadas de espera para el cargue	0		
Horas acordadas de cargue	0		
Horas acordadas de espera para el descargue	0		
Horas acordadas de descargue	0		
Horas acordadas de consecución carga	0		

Parámetros Generales	
Horas hábiles al mes	288
Distancias	902.18
Velocidad promedio	27.24
Porcentaje de Ica y porcentaje de retención en la fuente	1.30%
Porcentaje de comisión al conductor	8.00%
Porcentaje de administración del vehículo	5.00%
Capacidad vehículo	34

Resumen de Costos	
Costo total de movilizar la carga (1)	\$4,956,521.02
Costo total de los tiempos de espera, carga, descarga y consecución de carga (2)	\$0.00
Costo adicional de espera (Decreto 2092) (3)	\$0.00
Costo total del viaje (1+2+3)	\$4,956,521.02
Costo total de una hora adicional de espera, carga, descarga y consecución de carga.	\$29,014.40
Costo por tonelada.	\$145,780.03
Costo total tonelada por KM.	\$161.59
Costo total del viaje por KM.	\$5,493.94

COSTOS DETALLADOS							
Tipo de Costo	Concepto	Valor por tonelada	Valor por tonelada KM	Valor por viaje	Valor por viaje KM	Participación %	
Fijo	Capital	\$ 13,122.57	\$ 14.55	\$ 446,167.25	\$ 494.54	9%	
	Salario	\$ 6,719.46	\$ 7.45	\$ 228,461.52	\$ 253.23	4.60%	
	Soguros	\$ 2,518.62	\$ 2.79	\$ 85,633.10	\$ 94.92	1.72%	
	Parquadero	\$ 630.92	\$ 0.70	\$ 21,451.31	\$ 23.78	0.43%	
	Impuestos	\$ 334.29	\$ 0.37	\$ 11,365.93	\$ 12.60	0.22%	
	SUBTOTAL Fijo	\$ 23,325.86	\$ 25.85	\$ 793,079.11	\$ 879.07	16%	
	Variable	Combustible	\$ 53,016.95	\$ 58.77	\$ 1,802,576.44	\$ 1,998.02	36.36%
Pcajes		\$ 15,217.65	\$ 16.87	\$ 517,400.00	\$ 573.50	10.43%	
Llantas		\$ 12,109.39	\$ 13.42	\$ 411,719.31	\$ 456.36	8.30%	
Mantenimiento y reparaciones		\$ 9,127.29	\$ 10.12	\$ 310,327.93	\$ 343.98	6.26%	
Lubricantes		\$ 3,655.93	\$ 4.05	\$ 124,301.61	\$ 137.78	2.50%	
Imprevistos		\$ 2,010.15	\$ 2.23	\$ 68,345.21	\$ 75.76	1.37%	
Filtros		\$ 1,036.37	\$ 1.15	\$ 35,236.62	\$ 39.06	0.71%	
Lavado y Engraso		\$ 873.06	\$ 0.97	\$ 29,683.97	\$ 32.90	0.59%	
SUBTOTAL Variable		\$ 97,046.80	\$ 107.57	\$ 3,299,591.09	\$ 3,657.35	66.57%	
Otros		Comisiones y prestaciones	\$ 16,794.28	\$ 18.62	\$ 571,005.38	\$ 632.92	11.52%
		Factor de administración	\$ 6,580.51	\$ 7.29	\$ 223,737.36	\$ 248.00	4.51%
	Rotafuente o ICA	\$ 2,032.59	\$ 2.25	\$ 69,108.06	\$ 76.60	1.39%	
	Costo Adicional Espera	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	0%	
	SUBTOTAL Otros	\$ 25,407.38	\$ 28.16	\$ 863,850.80	\$ 957.51	17.42%	
Total Costos de Operacion		\$ 145,780.04	\$ 161.58	\$4,956,521.00	\$ 5,493.94		

Estas cifras son indicativas, con fines de negociación y no comprometen al Ministerio de Transporte

Fuente: Ministerio de Transporte (2015)

13. Referencias Bibliográficas

- Agencia Nacional de Infraestructura. (2012). *Infrastructure Development for Global Competitiveness – Sector Opportunities in Colombia*.
- Agencia Nacional de Infraestructura. (2013). *New Infrastructure Projects to Boost Coal Exports: Ports and Trains*. Bogota.
- Agencia Nacional de Infraestructura. (2013). *Rueda de Prensa Balance Primer Trimestre 2013*.
- Alvarez, R., Garcia-Cimadevilla, J. L., Diez, M. A., Bermudez, J., Alonso, V., & Puente, E. (2002). Calidad del Coque de Horno Alto en la Union Europea. *Revista Metal Madrid*, 38.
- ANDI. (2011). *Infraestructura Portuaria, Logística de Graneles Sólidos*.
- ASOPORTUARIA. (2013). *Modelos de Optimización de Costos de Transporte Intermodal en el Rio Magdalena*.
- ASTM. (1998). *ASTM D 388 - 98a Standard Classification of Coals by Rank*.
- ASTM INTERNATIONAL. (2004). *ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS* (Vol. 05.06). Baltimore, MD, USA.
- ASTM International. (2004). *Annual Book of ASTM Standars* (Vol. 05.06). Baltimore, MD, USA.
- Atsushi Ishihara, E. W. (2004). *Coal and Coal-Related Compounds*. Elsevier Science & Technology Books.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística Administración de la Cadena de Suministro* (Quinta Edición ed.). México: Pearson Education.
- Banco de La República. (2014). *Banco de La República - Banco Central de Colombia*. Retrieved April 22, 2014, from <http://www.banrep.gov.co/es/trm>
- Banomyong, R., & Beresford, A. K. (2001). Multimodal Transport: The Case of Laotian Garment Exporters. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 31 (9), 663-685.
- Bayer, A. K., Rademacher, M., & Rutherford, A. (2009). Development and perspectives of the australian coal supply chain and implications for the export market.
- Belanina, E. (2013). *Multimodal coal Transportation in Indonesia*. Rotterdam. Master Thesis. Erasmus Univerit, Rotterdam.
- Beresford, A., Pettit, S., & Liu, Y. (2011). Multimodal supply chains: iron ore from Australia to China. *Supply Chain Management: An International Journal*, 16 (1), 32-42.
- Bravo, J. J., Orjuela, J. P., & Osorio, J. C. (2007). Administración de Recursos de Distribución: Indicadores Para la Priorización en Transporte. *Estudios Gerenciales*, 23 (102).
- C.I. Carbocoque S.A. (2013). Acuerdo de Compra de Coque.

Cámara Colombiana de la Infraestructura. (2012). *Seguimiento a Proyectos de Infraestructura - Sistema Férreo Nacional*.

Cámara Colombiana de la Infraestructura. (2012). *Seguimiento a Proyectos de Infraestructura - Transporte Fluvial: Río Magdalena - Canal del Dique*.

Castro, F. S. (2011). *Evaluación del comportamiento térmico de carbones del Cerrejón, carbones coquizantes y sus mezclas en la producción de coque metalúrgico*. Tesis magistral, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Química, Bogotá.

Centro Virtual de Negocios. (2013). *Información Coque Colombia*.

Centro Virtual de Negocios. (2012). *Informe Coque 2012*.

COLFECAR. (2014). *Estudios Económicos - Toneladas Movilizadas*.

Commission of the European Communities - CEC. (2006). *La logística del transporte de mercancías en Europa – la clave para la movilidad*. Bruselas.

CONPES 3512. (2008). *Importancia Estratégica del Proyecto de Concesión Sistema Ferroviario Central*. Bogotá D.C.

CONPES 3547. (2008). *Política Nacional Logística*.

CONPES 3758. (2013). *Plan Para Restablecer la Navegabilidad del Río Magdalena*. Bogotá.

Consortio Silva Carreño & Asociados S.A. - Hugo Millán. (2004). *Plan de Infraestructura de Transporte y Portuaria para el Desarrollo Minero en Colombia*. Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, Bogotá.

Cormagdalena. (2013). *20th Annual IHS McCloskey Coal Conference of the Americas*. Cartagena.

Cormagdalena. (2014). *Cormagdalena*. Tomado de www.appriomagdalena.com

Cormagdalena. (2008). *Foro Sobre la Infraestructura Requerida Para la Competitividad del Carbón Colombiano*. Paipa.

CORPOCARARE. (2009). *El Camino hacia la competitividad del Carbón*.

CORPOCARARE. (2009). *Estudio Técnico, de Logística y de Mercado y la Estructuración Económica y Financiera del Ferrocarril del Carare*. Bogotá D.C.

CRU Strategies. (2007). *Estudio de Mercado de la Unión Europea*. Estudio de Consultoría, Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, Ministerio de Minas y Energía Colombia.

Cynthia Barnhart, G. L. (2007). *Handbooks in Operations Research and Management Science - Transportation* (Vol. 14). Amsterdam: North-Holland.

De Villiers, M. (2010). Experimentation and proof in mathematics. 205-222.

DNP. (2010). *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014*.

- EVO. (2011). *Logistics Yearbook 2011*. (P. J. Sterre, Ed.) Rotterdam: Feico Houweling.
- Flodén, J. (2007). Modelling intermodal freight transport - the potential of combined transport in Sweden . Doctoral Thesis. BAS Publishing. Goteborg University, Sweden.
- Gabler, A., & Poschke, M. (2013). Experimentation by firms, distortions, and aggregate productivity. *Review of Economic Dynamics* , 16, 26-38.
- Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2013). *Introduction to logistics systems management*. John Wiley and Sons.
- Goscinski, J. (2013, July 18). Private Consultant - Coal & Coke; The Way the Coke Degrades During Handling. *Impact of Multiple Handling Operations on Size Degradation of Coke*.
- Gujarat NRE Coke Limited. (2014, Marzo 2). *Natural Resurces Environment*. Retrieved 2014, tomado de <http://www.gujaratnre.com/metcoke.html>
- Gutierrez Bernal, J. M., Mora Pulido, W. F., Rodriguez Varela, L. I., Ramirez, J., & Diaz Velázquez, J. d. (2011). Aprovechamiento de partículas de ultrafinos de carbón de una planta lavadora en la producción de coque metalúrgico. *Ingeniería e Investigación* , 31, 65-73.
- ISO. (1980). *Coke (greater than 20 mm in size) - Determination of mechanical strength*.
- J.L.G. Cimadevilla, M. D. (2002). Calidad del Coquede Horno Alto en la Union Europea. *Revista Metal Madrid* .
- J.L.G. Cimadevilla, M. D.-F. (2005). Comparación de la calidad del coque siderúrgico obtenido a diferentes. *Revista Metal Madrid* .
- Janic, M. (2007). Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network. *Transportation Research Part D* , 33-34.
- Jiang, Y., Zhang, X., Rong, Y., & Zhang, Z. (2014). A Multimodal Location and Routing Model for Hazardous Materials Transportation Based on Multi-Commodity Flow Model. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (138), 791-799.
- Lemoine, O. W., & Tague, S.-L. (2004). Reconfiguration of supply chains and implications for transport: A Danish study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* , 34, 793-810.
- Leon D., E. F. (2006). La Importancia del Carbón Mineral en el Desarrollo. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG* , 91-97.
- Leon, D., & Erald, F. (2006). La importancia del carbón mineral en el desarrollo. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG* .
- Macharis, C., Caris, A., Jourquin, B., & Pekin, E. (2011). A decision support framework for intermodal transport policy. *European Transport ResearchReview*, 167-178.

- María-Tomé, B. (2012). *Mercado del Carbón a Medio Plazo, Tendencias de Mercado y Proyecciones a 2016*. Informe 2011, Agencia Internacional de la Energía .
- Márquez Díaz, L. G., Vega Báez, L. A., & Poveda D'Otero, J. C. (2011). Evaluación de la capacidad ferroviaria del corredor Bogotá - Belencito. *Revista de Ingeniería* (35), 12-19.
- Márquez, L. G. (2011). Optimización de una Red de Transporte Combinado Para la Exportación del Carbón del Interior de Colombia. *Revista EIA* , 11.
- Mathisen, T. A., & Moan, S. G. (2013). Intermodal transport of windmills.
- Mathisen, T. A., & Sandberg Hanssen, T.-E. (2014). The academic literature on intermodal freight transport.
- McGuire, W. (2013, August 14). Coke & Coal Consultant; Impact of Multiple Handling Operations on Size Degradation of Coke.
- McKinnon, A. (1989). *Physical distribution systems*. Londres: Routledge.
- Ministerio de Minas y Energía. (2013). Carbón en Colombia: Una industria que no se detiene. Cartagena.
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Estudio técnico sectorial "Infraestructura de transporte multimodal y de logísticas integradas para el desarrollo de la industria minera en Colombia, con énfasis en puertos" Informe No. 2.*
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Estudio técnico sectorial "Infraestructura de transporte multimodal y de logísticas integradas para el desarrollo de la industria minera en Colombia, con énfasis en puertos" Informe No. 3.*
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Estudio técnico sectorial "Infraestructura de transporte multimodal y de logísticas integradas para el desarrollo de la industria minera en Colombia, con énfasis en puertos" Informe No. 4.*
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Estudio técnico sectorial "Infraestructura de transporte multimodal y de logísticas integradas para el desarrollo de la industria minera en Colombia, con énfasis en puertos" Informe No. 5.*
- Ministerio de Minas y Energía. (2011). *Estudio técnico sectorial "Infraestructura de transporte multimodal y de logísticas integradas para el desarrollo de la industria minera en Colombia, con énfasis en puertos" Informe final.*
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Estudio técnico sectorial "Infraestructura de transporte multimodal y de logísticas integradas para el desarrollo de la industria minera en Colombia, con énfasis en puertos" Informe No. 3.*
- Ministerio de Transporte. (2005). *Caracterización del Transporte en Colombia - Diagnostico y Proyectos de Transporte e Infraestructura.*
- Ministerio de Transporte. (2011). *Política Publica para el Transporte y Logística de Carga.*

- Ministerio de Transporte. (2014). *Presentación Informe Final - Contrato 329 - 2012: Componente transporte de carga por carretera*. Bogotá.
- Ministerio de Transporte. (2004). *Resolución No. 004100 de 28 Dic 2004*.
- Ministerio de Transporte. (2009). *Supervisión y Control a los Servicios Portuarios y Terrestres Para la Carga a Granel*.
- Ministerio de Transporte. (2014). *Transporte en cifras - Estadísticas 2013*. Bogotá.
- Mora, L. A. (2014). *Control y Gestion Moderna de Inventarios*. Bogotá.
- Mora, L. A. (2014). *Transporte de Carga Terrestre*. Cali.
- Naviera Fluvial Colombiana S.A. (2009). *TRANSPORTE INTERMODAL DE CARGA POR EL RÍO MAGDALENA*.
- Nicholls-Nixon, C. L., Cooper, A. C., & Woo, C. Y. (2000). Strategic Experimentation: Understanding Change and Performance in New Ventures. *Journal of Business Venturing* , 493–521.
- Noriega, C. R. (2010). *El Sector Minero Colombiano Fuente de Oportunidades*. Ministerio de Minas y Energía, Bogotá.
- Odoyo, S., & Owuor, M. (2014). Determinants of Choice of Transportation Mode for White Petroleum by Oil Marketing Companies in Kenya. *IOSR Journal of Business and Management* , 16 (2), 135-148.
- Oxbow Carbon LLC. (2014, Marzo 2). Retrieved Marzo 2, 2014, tomado de https://www.oxbow.com/Products_Industrial_Materials_Metallurgical_Coke.html
- Papadopoulos, I., & Iatridou, M. (2010). Systematic approaches to experimentation: The case of Pick's theorem. *The Journal of Mathematical Behavior* , 29, 207-217.
- Paredes Morato, Y. (2010, Julio). *La Logística Portuaria*. Retrieved Octubre 29, 2012, tomado de Superintendencia de Puertos y Transporte: http://www.supertransporte.gov.co/super/phocadownload/Nuestra_Institucion/Delegada_de_Puertos/Caracterizacion_Puertos/LOGISTICA%20PORTUARIA.pdf
- Pérez Montoya, C. A. (2013, Agosto 25). C.I. Carbocoque S.A. El coque metalúrgico en la industria del hierro y el acero: distribución y calidad.
- Quintero Henao, D. A. (2012). *Estudio de Modos de Transporte en el Departamento de Caldas* .
- Republica de Colombia - Gobierno Nacional. (2013, Agosto 03). LEY 161 DE 1994.
- Resource-Net. (2014). International Market for Metallurgical Coke. Shanghai.
- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., & Slack, B. (2009). *The geography of transport systems* .
- Rodriguez Calderon, S. A., Gomez, C. A., & Amesquita, D. (2010). *Analisis del entorno Colombiano de Transporte de Carga*.

- Rosas, C. M. (2013). Análisis del transporte de carga en Colombia, para crear estrategias que permitan alcanzar estándares de competitividad e infraestructura internacional.
- Ruiz, F. J. (2009). Transportes marítimos especiales y estiba. Cantabria - España.
- SGS. (2012). *Metallurgical Coal and Coke Testing*.
- Speight, J. G. (2013). *The Chemistry and Technology of Coal* (3 ed.). Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC.
- Stahlbock, R., & Voß, S. (2008). Operations research at container terminals: A literature update .
- StadieSeifi, M., Dellaert, N., Nuijten, W., Van Woensel, T., & Raoufi, R. (2013). Multimodal Freight Transportation Planning: A Literature Review. *European Journal of Operational Research* .
- Todoschuk, T. (2013, Julio 29). R&D Primary Process; ArcelorMittal Dofasco Inc.; Entrevista Personal.
- Todoschuk, T., Gransden, D. J., & Price, D. J. (2010). *Implementation of Coke Stabilization at ArcelorMittal Dofasco*. Hamilton, ON, Canada.
- United Nations Economic Commission for Europe - UNECE. (2009). *Illustrated Glossary for Transport Statistics*.
- UPME. (2011). *Boletín Estadístico de Minas y Energía*. Boletín, Ministerio de Minas y Energía, Republica de Colombia, Bogota.
- UPME. (2012). *Cadena del Carbón*. Ministerio de Minas y Energía, Republica de Colombia, Bogotá.
- UPME. (2005). *Distritos Mineros: Exportaciones e Infraestructura de Transporte*.
- UPTC-UNALMED-UNINORTE. (2008). *Monografía análisis de la oferta y demanda del transporte de carbón en Colombia* . Barranquilla.
- Verweij, K. (2011). Synchronic Modalities – Critical Success Factors. *Logistics Yearbook Edition 2011* , 75-88.
- Walters, D. (2003). *Global Logistics and Distribution Planning* (4th ed.). (D. Walters, Ed.) London: Kogan Page Limited.
- Wang, Y., Bilegan, I. C., Crainic, T. G., & Artiba, A. (2014). Performance indicators for planning intermodal barge transportation systems. *Transportation Research Procedia* , 621 – 630.
- Womack, J. P. (2012). *Lean Thinking, Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Gestión 2000.
- Woodburn, A., Browne, M., Piotrowska, M., & Allen, J. (2007). Literature review WM7: scope for modal shift through fiscal, regulatory and organisational change.
- World Coal Institute. (2009). *Coal & Steel Report*.

World Economic Forum. (2013). *Global Competitiveness Report 2013-2014*.

Woxenius, J. (1995). Combined Transport In The Perspective Of The Hauliers. *PTRC European Transport Forum* .

Zamora Torres, A. I., & Pedraza Rendón, O. H. (2013). El Transporte Internacional Como Factor de Competitividad en el Comercio Exterior. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science* (18), 108-118.