

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE UNA RED DE TRANSPORTE
MULTIMODAL PARA EL CORREDOR SUR EN COLOMBIA**

**JULIÁN GONZÁLEZ VELASCO
JUAN CARLOS METAUTE PÉREZ**

UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
ÁREA DE ÉNFASIS INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
Diciembre 2016

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE UNA RED DE TRANSPORTE
MULTIMODAL PARA EL CORREDOR SUR EN COLOMBIA**

**JULIÁN GONZÁLEZ VELASCO
JUAN CARLOS METAUTE PÉREZ**

Trabajo de grado para optar el título
Maestría en Ingeniería

Director

PhD. Juan José Bravo Bastidas

Co-Director

PhD. Carlos Julio Vidal Holguín

UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
ÁREA DE ÉNFASIS INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
Diciembre 2016

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Santiago de Cali, 5 de diciembre de 2016

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 ANTECEDENTES.....	13
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	19
2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3 JUSTIFICACIÓN.....	21
4 MARCO REFERENCIAL	27
ESTADO DEL ARTE	27
5 DISEÑO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	35
TIPO DE INVESTIGACION.....	35
6 DIAGNÓSTICO DE LA RECEPCIÓN Y MOVILIZACIÓN DE CARGA CONTENEDORIZADA POR MODO DE TRANSPORTE.....	37
6.1 CARACTERIZACIÓN CORREDOR BOGOTÁ BUENAVENTURA.....	37
6.2 CARACTERIZACIÓN RED FÉRREA BOGOTÁ- BUENAVENTURA	39
6.2.1 Red Férrea del Pacífico	40
6.2.2 Carga Movilizada por modo de transporte férreo	41
6.3 MOVILIZACIÓN DE TRANSPORTE DE CARGA.....	42
6.3.1 Generación y Atracción de Carga por Departamento.....	43
6.3.2 Movilización de carga contenedorizada.....	44
6.3.3 Costos de Transporte por Carretera en Colombia.....	45
7 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD LOGÍSTICA DEL PUERTO DE BUENAVENTURA	49
7.1 ENTORNO GEOGRÁFICO	51
7.1.1 Clima y recursos hídricos	51
7.2 MOVIMIENTO DE CARGA – ESTADÍSTICAS	53
7.2.1 Infraestructura Portuaria	55
7.3 CONCLUSIONES SOBRE LA CAPACIDAD LOGÍSTICA DEL PUERTO DE BUENAVENTURA.....	67

8	EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS Y ESCENARIOS DE REDES DE TRANSPORTE MULTIMODAL DE CONTENEDORES	68
8.1	ESCENARIOS O TIPOLOGÍAS DE REDES DE TRANSPORTE INTERMODAL	69
8.1.1	Características operacionales y aplicación del diseño de la red	72
8.2	IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE MODELO DE OPTIMIZACIÓN	77
8.2.1	Selección de Modelo Matemático para la Optimización de una Red de Transporte Multimodal en el Corredor Bogotá Buenaventura.....	82
9	DISEÑO Y RESOLUCIÓN DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN COMBINADO CON TÉCNICAS MULTICRITERIO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS MEJORES MODOS DE TRANSPORTE MULTIMODAL PARA EL MANEJO DE CONTENEDORES	84
9.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA OBJETO DE MODELAMIENTO	84
9.2	MODELACIÓN MATEMÁTICA	85
9.2.1	Resultados del modelo	91
9.3	DETERMINACIÓN DE CRITERIOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE ZONAS DE INTERCAMBIO MODAL EN EL CORREDOR BOGOTÁ – BUENAVENTURA	94
9.3.1	Aspectos Teóricos que Fundamentan el Proceso Analítico Jerárquico – AHP	94
9.3.2	Enfoque Metodológico	96
9.3.3	Ponderación y priorización de criterios	107
10	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116
	CONCLUSIONES.....	116
	RECOMENDACIONES	118
11	BIBLIOGRAFÍA.....	119

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tráfico portuario por zona portuaria – 2012	16
Tabla 2 Tráfico portuario por sociedades portuarias - 2012.....	16
Tabla 3 Resumen del comercio exterior colombiano	24
Tabla 4 Perfil geográfico de la Ruta Bogotá Buenaventura Terrestre.....	38
Tabla 5 Tabla Matriz de distancias. Origen – Destino.....	38
Tabla 6 Tarifas de peajes en el corredor Bogotá - Buenaventura.....	39
Tabla 7 Red férrea del Pacífico.....	41
Tabla 8 Carga movilizada Red férrea del Pacífico	42
Tabla 9 Carga total distribuida por tipo de vehículo	43
Tabla 10 Participación de carga y viajes por sector.....	43
Tabla 11 Generación y atracción de carga por departamento	44
Tabla 12 Movilización de carga por tipo de contenedor	44
Tabla 13 Transporte de carga en contenedores	45
Tabla 14 Matriz de distancias origen – destino (Km)	46
Tabla 15 Tabla de Fletes.....	47
Tabla 16 Tarifas de movilización de carga.....	48
Tabla 17 Área de Influencia del Puerto de Buenaventura.....	51
Tabla 18 Tráfico de carga por el puerto de Buenaventura 2002 - 2011.....	54
Tabla 19. Las aplicaciones típicas de los diferentes diseños de redes de transporte en los servicios de transporte.....	77
Tabla 20 Principales resultados del modelo.....	92
Tabla 21 Criterios por categoría B – Beneficio, O – Oportunidad, C – Costo, R - Riesgo	104
Tabla 22 Preferencia y grado de preferencias entre pares de criterios	104
Tabla 23 Priorización por categoría de criterios	108
Tabla 24 Normalización de criterios por categorías de criterios.	108
Tabla 25 Priorización de los criterios de Beneficio.....	109
Tabla 26 Normalización y vector prioridad de criterios de Beneficio.....	109
Tabla 27 Priorización de los criterios de oportunidad	110
Tabla 28 Normalización y vector prioridad de criterios de oportunidad	110
Tabla 29 Priorización de los criterios de costo.....	111
Tabla 30 Normalización y vector prioridad de los criterios de costo	111
Tabla 31 Priorización de los criterios de riesgo.....	112
Tabla 32 Normalización y vector prioridad de criterios de riesgo.....	112
Tabla 33 Índice aleatorio para el cálculo de coeficiente de consistencia.....	113
Tabla 34 Coeficientes de consistencia por categorías y criterios	114
Tabla 35 Vectores ponderación de criterios para la selección de zonas de intercambio modal.	115

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Comparativo PIB total vs. PIB transporte	17
Gráfico 2 Calidad de la infraestructura sector transporte 2009 - 2010.....	18
Gráfico 3 Evolución del Comercio Exterior de Bienes Colombiano (% PIB)	23
Gráfico 4 Principales corredores de comercio exterior	25
Gráfico 5 Costos logísticos de Colombia -	25
Gráfico 6 Ejemplo de una red de transporte multimodal	31
Gráfico 7 Perfil ruta Bogotá – Buenaventura vía terrestre.	37
Gráfico 8 Red Férrea del Pacífico	40
Gráfico 9 Red Férrea del Valle del Cauca.....	41
Gráfico 10 Ubicación Geográfica puerto de Buenaventura	49
Gráfico 11 Localización geográfica de Buenaventura - Isla Cascajal	50
Gráfico 12 Recursos hídricos del Municipio de Buenaventura.....	52
Gráfico 13 Evolución tráfico portuario	53
Gráfico 14 Tráfico de carga puerto de Buenaventura 2002 – 2011	55
Gráfico 15 Esquema de seguridad SPRBUN.....	58
Gráfico 16 Centro de monitoreo de contenedores	59
Gráfico 17 Distribución del terminal marítimo de Buenaventura	59
Gráfico 18 Representación típica de una red de transporte intermodal	69
Gráfico 19 Escenarios de redes de transporte intermodal	71
Gráfico 20 Corredores logísticos terrestre y férreo Bogotá - Buenaventura	87
Gráfico 21 Red de transporte intermodal Bogotá - Buenaventura	87
Gráfico 22 Relación entre el valor objetivo de la función, el coste de transporte entre nodos asignados al mismo hub y el coste total.....	93
Gráfico 23 Diagrama de flujo para el Análisis Jerárquico de Proceso - AHP	95
Gráfico 24 Revisión sistémica del flujo.....	96
Gráfico 25 Estrategia metodológica	97
Gráfico 26 Herramienta para la captura de información de expertos.....	105
Gráfico 27 Captura de grados de preferencia entre categorías de criterios.	106
Gráfico 28 Grados de preferencia por pares de criterios según categoría	107

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Criterios seleccionados para el proceso de Análisis Jerárquico	126
Anexo 2 Modelo AMPL.....	128
Anexo 3 Comandos Modelo Matemático AMPL.....	132
Anexo 4 Datos Modelo Matemático AMPL, Escenario 1.....	134
Anexo 5 Datos Modelo Matemático AMPL, Escenario 2.....	137

GLOSARIO

AHP: Referencia al proceso analítico jerárquico, herramienta de toma de decisiones multicriterio.

Hub: En el argot logístico, se define como un lugar donde se concentra o centraliza carga, y desde la perspectiva de la investigación, permite definir el tradicional problema de localización de concentradores, denominado “Hub location problem” – HLP por sus siglas en inglés.

Intermodal: Hace referencia a la articulación entre diferentes modos de transporte, utilizando una única unidad de medida (contenedorizada), que busca hacer mas eficiente y eficaz las operaciones asociadas a la movilización de mercancías.

Multimodal: Hace referencia al transporte o movilización de mercancías utilizando al menos dos modos diferentes de transporte, desde un origen hasta un destino, el concepto de transporte multimodal en Colombia, está enmarcado en el decreto 149 de 1999.

Puerto seco Terminal intermodal interior que está conectada por vía férrea o terrestre con una o varias terminales marítimas, con la capacidad de posponer el control aduanero al ingreso al puerto seco.

Zona de intercambio modal. Se denomina así al lugar donde confluye diferentes modos de transporte y que cuenta con las instalaciones y facilidades para mover o transferir un contenedor de un modo de transporte a otro.

RESUMEN

Este proyecto de investigación se orientó hacia la configuración de una herramienta de carácter estratégico, que permita orientar los esfuerzos del país en la consolidación de una red de transporte multimodal que permita la reducción de los costos logísticos de Colombia y hacerlo más competitivo en el ámbito logístico mundial.

Para alcanzar la propuesta presentada, se llevó a cabo una revisión de la literatura que fuese relevante y pertinente para el caso colombiano, para lo cual fue necesario tipificar los diferentes escenarios posibles de configuración de una red de transporte intermodal para el corredor objeto de estudio, Una vez definido el escenario más apropiado, se orientaron los esfuerzos en identificar en la literatura, los diferentes estudios e investigaciones, para con ello configurar un modelo que permitiese dar respuesta a los objetivos planteados, incorporando aspectos que la misma literatura no ha involucrado, como fue permitir la selección de una tecnología adecuada para las zonas de intercambio modal.

Definida a partir de la solución cuantas y en que regiones era necesario establecer donde se debería ubicar las zonas de intercambio modal, se hizo necesario proponer una herramienta que basada en criterios cualitativos y cuantitativos permiten seleccionar entre varios sitios candidatos, una zona de intercambio modal, en este sentido, igualmente se hace una revisión de la literatura, para finalmente dejar esbozado una herramienta de toma de decisiones basado en el proceso analítico jerárquico (AHP).

Definidas ambas herramientas, tanto el modelo matemático, como la ponderación de los criterios, se deja para el uso la metodología de evaluación de una red de transporte intermodal para el corredor Bogotá – Buenaventura.

INTRODUCCIÓN

El transporte de carga en Colombia, es quizá uno de los aspectos a tener en cuenta para alcanzar niveles de competitividad acorde con los estándares internacionales. Ha sido motivo de gran cantidad de estudios que han permitido diagnosticar desde diferentes aspectos, tanto de oferta como de demanda de carga, infraestructura, tipos de transporte, sin que hasta el momento se tenga una solución de carácter integral que permita una optimización de los sistemas de transporte que redunde en costos adecuados que posicionen al país en un entorno de productividad y competitividad.

El desarrollo de esta investigación, está orientado a generar una propuesta de metodología de evaluación de transporte multimodal, donde se planteen posibles zonas de cargue y descargue; para aprovechar la integración de los diferentes modos de transporte, bajo la óptica de puertos secos, que garantice eficiencia y economía en las operaciones logísticas.

Es importante en el desarrollo del proyecto de investigación hacer énfasis en la regulación, en la identificación y calificación de los actores en este sector, particularmente los generadores de carga, las empresas de transporte y los transportadores, atendiendo las características e importancia que presenta cada uno de ellos tanto en la problemática como en la constitución de una solución integral.

Es de resaltar que en el transporte de carga por carretera participan principalmente un grupo importante de agentes: los generadores de carga, las empresas de transporte y los transportadores y un aparte especial merecen los conductores como actores en el transporte de carga. El generador de carga es un empresario de otro sector que produce la mercancía susceptible de ser transportada, el cual utiliza los servicios de una empresa de transporte, cuya actividad no se restringe al traslado mismo de la mercancía, pues involucra también la seguridad de la carga, la coordinación de su recepción y entrega y, eventualmente, la realización de trámites de aduana; y por último el conductor donde su experticia, conocimiento de las vías e incluso sus mismos vicios, intervienen en la entrega oportuna y segura de la carga.

En general, las empresas prestadoras de servicio de transporte no utilizan vehículos propios, sino que contratan los servicios de transportadores a los que les pagan unos “fletes” por transportar la mercancía que les ha sido entregada por los generadores de carga.

De acuerdo con lo expuesto por el Departamento Nacional de Planeación durante el desarrollo del “Taller de Regulación” del Transporte de Carga en Colombia desarrollado el 6 de abril de 1999, donde se hace énfasis en resaltar la importancia de tener en cuenta que este sector engloba no uno, sino dos

mercados: aquel en el que las empresas de transporte “compran” el servicio de los transportadores y aquel en el que los generadores de carga contratan a la empresa y donde la ley impide que los propietarios de la carga contraten el servicio directamente con los dueños de los camiones cuando éstos no conforman una empresa formal.

Se aborda este documento haciendo una presentación de los posibles aspectos en el transporte multimodal. La evaluación y metodología será aplicada para la integración de los modos terrestre en contenedor por carretera y férreo, en el corredor que llamamos Sur: Bogotá - Eje cafetero - Buga - Buenaventura.

Como eje fundamental del presente proyecto, se planteará el diseño de un modelo de optimización combinado con técnicas multicriterio, de manera tal que permita identificar en el nivel estratégico, los mejores nodos de transferencia (zonas de intercambio o integración modal) y modos de transporte multimodal para el manejo de contenedores en el corredor sur Bogotá – Buenaventura.

En el numeral 2, se hace una presentación del estado del arte existente, haciendo notar las posibles debilidades que presenta el sector logístico nacional.

En el numeral 3, se hace una presentación de los objetivos a desarrollar durante el proceso de investigación, procurando que estos sean alcanzables y evaluables en el corto plazo.

Se aborda en el numeral 4, los aspectos que han de servir como pilares del proyecto de investigación, dejando claro los referentes teóricos a tener en cuenta para el desarrollo del mismo.

El diagnóstico de la recepción y movilización de carga contenedorizada en el corredor Bogotá – Buenaventura, se aborda en el numeral 5, haciendo una sinopsis de la carga movilizadora por modo de transporte tanto férreo como terrestre, en éste último, se presenta una caracterización de tipo de carga según el sector de origen y el tipo de vehículo utilizado.

En el numeral 6, se hace una descripción de los aspectos relacionados con la infraestructura del puerto de Buenaventura y sus capacidades para el almacenamiento de carga y de movilización de la misma tanto para importaciones, como para exportaciones.

Los numeral 7, se hace una breve sinopsis del estado del arte e investigaciones realizadas acerca de la localización de hubs.

En el numera 8 se aborda la modelación matemática para la macro localización de las zonas de intercambio modal y la construcción de la herramienta para la toma de decisiones de micro localización mediante un AHP. Por último, el numeral 9, está orientado a precisar las conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir del estudio realizado.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

El sector transporte en Colombia y particularmente el de transporte de carga, es uno de los renglones de la economía nacional que representa un 5.5% del PIB nacional presentando un gran valor estratégico para la economía nacional, pues vincula actividades productivas, comerciales y sociales. (Presidencia de la República de Colombia, 2002). La operación del sector de transporte se convierte en un punto de vital importancia a la hora de evaluar la manera de hacer llegar los productos de la mejor manera posible al cliente final, teniendo en cuenta siempre la calidad y los costos en los cuales se incurrirán para cumplir con la meta planteada.

El transporte terrestre de carga en Colombia ha presentado un notable crecimiento y es sin duda el medio más utilizado de movilización de mercancía tanto en el comercio interno como en materia de importaciones y exportaciones. Esto debido principalmente al desarrollo en los últimos años de carretera en todo el país a través del sistema nacional de concesiones, al relevo de esta modalidad frente a modos como el ferroviario o el fluvial y por supuesto, a la intervención de estado en materia de regulación para enfrentar los costos.

Se prevé para el futuro del transporte de carga crecimientos importantes en los flujos de mercancías con los correspondientes impactos que generarán cambios profundos en los procesos logísticos y de mercadeo, aspecto que ejercerá una presión sobre la actividad y los protagonistas del transporte; de manera que pueden llegar a representar un costo importante dentro de la cadena logística, con todas las repercusiones - especialmente económicas - que esto implica (Mójica R., 2009).

Para poder ingresar a nuevos mercados, superar los existentes y aprovechar los potenciales beneficios, el país debe fortalecer su capacidad logística, reduciendo los costos y tiempos de movilización. Todo esto debe iniciarse a través de un sencillo ejercicio de revisar y analizar el estado actual del sector, para ver de manera objetiva y veraz las cifras e información que indican la realidad de su desarrollo, los logros alcanzados y las metas o retos a trazar. Todo esto, transforma de forma inmediata el esquema actual y plantea que las posibilidades de expansión no son sólo en infraestructura sino en la utilización eficiente de los corredores carreteables y los sistemas multimodales.

Los principales retos en materia de logística deben estar orientados a:

- a. Reducir la participación de los costos del transporte en el precio final de las mercancías;
- b. Procurar la integración de las zonas aisladas con los centros de consumo y distribución con el propósito de elevar los niveles de productividad, fortalecer y potenciar la explotación agrícola y propender por mejorar el nivel de vida en las regiones;

- c. Implementar mecanismos auto sostenibles de administración regional y transferir la infraestructura de la red de transporte de interés departamental y municipal, al igual que la administración y gestión de la carga en los diferentes corredores carreteables;
- d. Reducir los índices de accidentalidad, así como los eventos de piratería, secuestros y demás delitos cometidos en las vías y
- e. Tener un impacto positivo en el medio ambiente.

Alcanzar estos objetivos, demandará del Gobierno nacional la generación de estrategias donde la inversión nacional o extranjera tengan una alta participación, con el objeto de procurar cambios significativos en materia de regulación, de manera que se procure el desarrollo y fortalecimiento del sector transporte, el fortalecimiento institucional y se consoliden los diferentes esquemas de participación.

El crecimiento de zonas francas y puertos secos en Colombia implican que el sector transportador deba cambiar y transformarse en un aliado estratégico para la competitividad, garantizando una respuesta inmediata a las demandas del mercado con bajos costos, con eficiencia y oportunidad, y con seguridad. En la medida que el transporte en su integralidad se convierta en un aliado de los planes de la logística del país, los acuerdos de comercio serán más competitivos y más atractivos internamente.

Por otro lado, y como una explicación a lo anterior, en los últimos 10 años, el comercio exterior colombiano de bienes medido como porcentaje del PIB, ha incrementado su participación pasando del 24,2% en 1997 al 34,6% en 2007. (Mójica R., 2009).

En Colombia, dadas las características geográficas y la ubicación de los centros de producción y consumo, sumados a la tradición histórica, el transporte carretero de carga cumple un rol estratégico en el desarrollo económico del país. En 2006, el 99% de la carga nacional, excluyendo carbón e hidrocarburos, se movilizó por este modo, lo cual lo convierte en un soporte fundamental del sector productivo (Ministerio de Transporte, 2007).

Como resultado de esta tendencia, el impacto de los servicios del transporte de carga por carretera en la estructura de costos del comercio exterior es significativo. Es así como los fletes de transporte de carga por carretera representan en promedio cerca del 22% del total de los costos de Distribución Física Internacional. Sin embargo, esta cifra puede incrementarse en algunos casos hasta el 39% de los costos de las importaciones y 36% de las exportaciones, si se tienen en cuenta otros costos directos asociados con el transporte. (Ministerio de Transporte, 2007).

Así mismo, los costos de la logística en Colombia están por arriba del promedio latino americano y de la región andina; sin embargo, son menores a algunos mercados potencialmente desarrollados o beneficiados por su localización. Esto

se hace considerable teniendo en cuenta que el transporte de carga por carretera es uno de los factores que más incide en los costos logísticos de las empresas sobre sus ventas totales. (Ministerio de Transporte, 2007). De acuerdo con la Federación Colombiana de Transitarios, Intermediarios, Aduaneros y Almacenadoras, FITAC, el 52,2% del costo logístico en transporte es debido a la falta complementariedad en los distintos modos de transporte de carga. (FITAC, 2008)

En el mismo artículo, la FITAC expresa que la multimodalidad del transporte no es una fortaleza del comercio colombiano, donde aproximadamente el 1,25% del comercio en Colombia se realiza por transporte multimodal, en tanto en Europa cerca del 60% del transporte es multimodal.

Según la ANDI (Asociación Nacional de Empresarios) el exceso de trámites y la baja competitividad que generan los costos logísticos son algunos de los principales inconvenientes a la hora de hacer negocios. En Colombia, después de la ola invernal que azotó al país, estos precios tuvieron un incremento del 18% al 22%, cuando por ejemplo en Estados Unidos representan alrededor del 8%. (Higuera, 2012)

De igual manera, el Dr. Edgar Higuera expresa en que al comparar la “distancia económica” para movilizar un contenedor de 40 pies en rutas equivalentes (Costo/km), se evidencia que en Colombia los costos de las rutas del centro del país a los puertos son hasta 4 veces más altos que en otros países con distancias similares, independiente del tipo de carga y el modo de transporte. Tal es el caso de la ruta Buenaventura – Bogotá cuyo valor por kilómetro es de 4,4 USD, mientras que las rutas Charleston-Atlanta en Estados Unidos o Rotterdam – Frankfurt en Europa cuestan alrededor de un dólar por kilómetro. (Higuera, 2012)

El sistema portuario colombiano comprende 122 instalaciones, distribuidas así:

- 5 Sociedades Portuarias Regionales
- 9 Sociedades Portuarias de Servicio Público
- 7 Sociedades Portuarias Privadas de Servicio Privado
- 44 Muelles Homologados
- 10 Embarcaderos o muelles de cabotaje para naves menores y
- 47 otras facilidades portuarias (Mójica R., 2009)

La Tabla 1 corresponde a la movilización de carga por las diferentes zonas portuarias del país, incluye la información correspondiente a carga de granel (carbón) que se mueve por Santa Marta y Guajira, al igual que la carga de tránsito en los muelles de Cartagena, la Tabla 2, muestra la información de movilización de carga por las sociedades portuarias, tanto de impo como de expo.

Tabla 1 Tráfico portuario por zona portuaria – 2012

Zona Portuaria	Impo + Expo	Cabotaje	Fluvial	Transbordo	Tránsito Internacional	Transitoria	Total	Participación
Santa Marta	50.153,35	1,28	0,00	11,64	0,23	0,00	50.166,49	28,37%
Golfo de Morrosquillo	34.539,42	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00	34.540,21	19,54%
Cartagena	16.442,02	223,86	28,43	0,00	16.480,81	234,77	33.409,89	18,90%
Guajira	32.873,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32.873,21	18,59%
Buenaventura	14.428,33	1,95	0,00	561,23	0,00	81,42	15.072,94	8,53%
Barranquilla	8.032,76	45,84	44,48	67,09	5,42	50,72	8.246,31	4,66%
Tumaco	1.170,66	11,23	0,00	0,00	0,00	0,00	1.181,89	0,67%
Rio Magdalena	62,59	10,94	15,88	0,00	1.030,05	0,00	1.119,46	0,63%
San Andrés	96,73	82,39	0,00	0,00	0,00	0,00	179,12	0,10%
Turbo	0,00	9,38	0,00	0,00	0,00	0,00	9,38	0,01%
Total	157.799,07	387,67	88,79	639,96	17.516,50	366,91	176.798,90	100,00%
Participación	0,89	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	1,00	

Fuente: Súper transporte. Cifras en miles de toneladas (Ministerio de Transporte, 2013)

Tabla 2 Tráfico portuario por sociedades portuarias - 2012

Sociedades Portuarias	Impo + Expo	Cabotaje	Transbordo	Tránsito Internacional	Transitoria	Total	Participación	% participación Impo+Expo
SPR CARTAGENA	3.005,69	0,00	0,00	12.150,83		15.156,52	41,16%	12,53%
SPR BUENAVENTURA	9.766,51	0,00	561,23	0,00	81,42	10.409,16	28,27%	40,70%
SPR SANTAMARTA	6.610,54	1,28	11,64	0,23		6.623,68	17,99%	27,55%
SPR BARRANQUILLA	4.611,91	0,00	0,29	4,40		4.616,60	12,54%	19,22%
SPR TUMACO	2,86	11,23	0,00			14,10	0,04%	0,01%
Total	23.997,50	12,51	573,16	12.155,45	81,42	36.820,05	100,00%	
Participación	65,18%	0,03%	1,56%	33,01%	0,22%	100,00%		

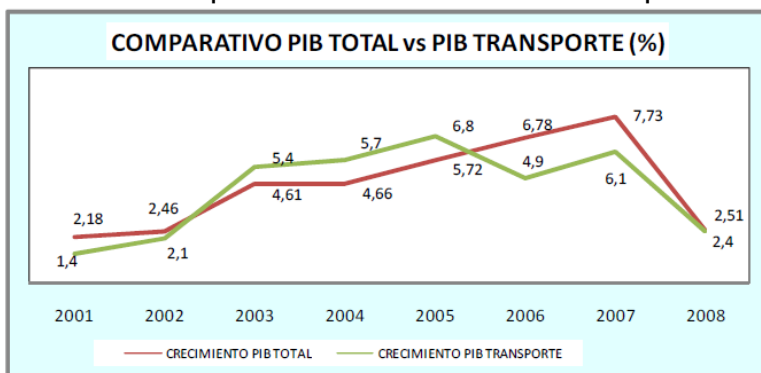
Fuente: (Ministerio de Transporte, 2013)

Para el año 2012, se movilizaron por comercio exterior cerca 158 millones de toneladas de las cuales un 99 % se realiza por las 5 Sociedades portuarias regionales y los 5 puertos especializados que principalmente exportan petróleo y carbón (ver Tabla 2). Las exportaciones no tradicionales focalizan especialmente su movimiento por las Sociedades Portuarias Regionales: Santa Marta, Barranquilla, Cartagena, Buenaventura y Tumaco, donde la costa atlántica con los puertos de Santa marta, Guajira, Cartagena y Morrosquillo, movieron cerca del 84% en tanto Buenaventura alcanzó una participación del 8,53%. En participación por sociedades portuarias, la sociedad portuaria regional de Buenaventura movilizó el 40,7% de mercancía y en tránsito 81,42 miles de toneladas (Tabla 2), para una participación ponderada de 0,22% del total de carga movilizada por las sociedades portuarias.

Los servicios del sector transporte para el año 2010, muestran una tasa de crecimiento del 6%, al pasar de \$17.065 miles de millones a \$18.089 miles de millones, observándose incrementos tanto en los servicios de transporte terrestre (6%) como en los servicios de transporte aéreo (10,6%) y en los servicios de transporte complementarios y auxiliares (3,4%), lo que evidencia un cambio de tendencia pues para el 2009, se registró una variación negativa, que en su momento se explicó por la recesión económica mundial. (Ministerio de transporte, 2011) (ver Gráfico 1)

Señala el mismo estudio, que la infraestructura de transporte aún tiene un amplio margen para mejorar. Los indicadores de calidad de la infraestructura, calculados por el Foro Económico Mundial (FEM) para 133 países, presentan a Colombia en el puesto 83 con una calificación inferior a la de países como Chile, Uruguay y Brasil, y superando a algunos países de la región como son Argentina (88), Ecuador (100), Venezuela (106), Perú (97), Bolivia (122) y Paraguay (129). (Mójica R., 2009) (Gráfico 2)

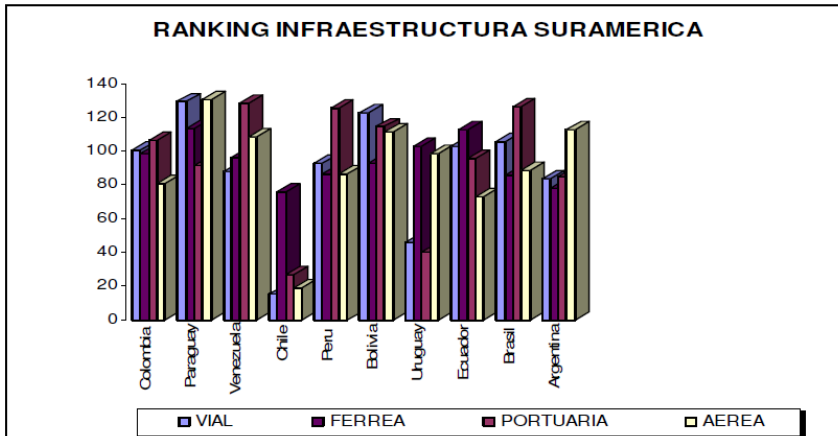
Gráfico 1 Comparativo PIB total vs. PIB transporte



Fuente: Diagnóstico del transporte 2009.

La movilización de carga por carretera es un indicador que muestra el comportamiento del sector y su repercusión en la economía nacional. De cualquier manera la infraestructura de transporte es de vital importancia y genera un alto impacto en el crecimiento y desarrollo de un país; así mismo la movilización de carga determina los niveles de crecimiento y de aceptación en los mercados internacionales; en el caso colombiano, la carga que se transporta por vía terrestre es aproximadamente el 80% del total, a través de una red que no alcanza a ser suficiente, además de las limitaciones en los procesos logísticos relacionados, sin mencionar los factores perturbadores de orden público e inseguridad. (Mójica R., 2009).

Gráfico 2 Calidad de la infraestructura sector transporte 2009 - 2010



Fuente: Diagnóstico del transporte 2009.

Ingresar a los nuevos mercados y aprovechar los logros alcanzados en los mercados actuales, requiere que el país fortalezca la capacidad logística, buscando producir una reducción en los costos y tiempos de movilización, procurando la integración de los diferentes modos de transporte, buscando mecanismos que permitan la optimización de la capacidad existente y generando elementos que garanticen un balance de la carga que permita mostrar las necesidades del mercado y la oferta de compensación del transporte en la cadena logística a través de una propuesta alternativa.

El corredor sur cuenta actualmente con el desarrollo de obras y planes de expansión logística que plantean un crecimiento en el puerto y el comercio por esta red, los aumentos de puertos secos y las facilidades que han proporcionado las zonas francas, han aumentado el tráfico de contenedores por este corredor.

Buenaventura siendo el principal puerto al sur del país y parte del corredor sur cuenta actualmente con una sola vía en dos sentidos e ingresos a puerto que generan demoras e incrementan los costos para los usuarios por la ineficiencia en el sistema. Por lo tanto, el problema de red del corredor sur presenta dificultades permanentes por derrumbes, bloqueos o accidentes que dejan a los transportadores y a sus clientes con pérdidas económicas, comerciales y de servicio; al no existir en la red una alternativa multimodal que pueda disminuir los riesgos existentes.

La exploración en el manejo de unitarización en contenedor y las posibles oportunidades multimodales son la posibilidad que plantea en esta evaluación con el fin de bajar costos, eficiencia ambiental y eficiencia en tiempos de transporte cargue y descargue.

En Colombia, la exploración de alternativas que permitan minimizar los impactos negativos generados por la movilización de carga mediante la utilización de modos de transporte por carretera no ha sido considerada en forma prioritaria, dando

como resultado que los otros modos de transporte que existen, no cuenten con una participación importante en los planes logísticos del país.

Con base en lo anterior, un corredor donde se mueve cerca del 51% de la carga de comercio internacional, un alto volumen de vehículos que transitan desde y hacia el puerto de Buenaventura, generando congestión y contaminación en el corredor, una vía expuesta en forma permanente a los derrumbes y por ende cierres de la vía, requiere de una intervención que propicie mejoras en la logística del país y por ende mejoras en el PIB, es por ello que surge la siguiente pregunta:

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar una metodología de evaluación de una red de transporte multimodal para el corredor sur en Colombia?

1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las características del sistema logístico en el corredor sur, Bogotá-Eje Cafetero- Buga –Buenaventura?

¿Qué participación presentan las diferentes modalidades de transporte de carga, en el manejo de contenedores en el corredor sur?

¿Cuál es el comportamiento de la movilización de contenedores en las variables peso, volumen, fletes del transporte por origen y destino en el corredor sur?

¿Cuál es la capacidad logística en el manejo de contenedores del puerto y de las zonas francas operando en el corredor Sur?

¿Cuáles son los costos de transporte por modalidad y por manejo de contenedores?

¿Cuál es el resultado del diseño de la red multimodal, cuales son lugares viables para la operación multimodal?

¿Cuáles metodologías de evaluación se podrían modelar para el transporte contenedorizado multimodal en el corredor sur?

2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un método de evaluación de una red de transporte multimodal para el manejo de contenedores en el corredor sur de Colombia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Con respecto del corredor logístico sur de Colombia, tal como ha sido definido en este proyecto, se pretende:

- Realizar un diagnóstico de la recepción y movilización de carga contenedorizada por modo de transporte (carretera y tren) en el corredor Bogotá-Buenaventura, en donde se pueda identificar el comportamiento de variables peso, volumen, costo de fletes, tipo y capacidad de contenedor.
- Identificar la capacidad logística del puerto de Buenaventura
- Evaluar diferentes métodos de análisis y posibles escenarios de una red de transporte multimodal de contenedores que integre las diferentes modalidades de movilización de carga por carretera y por modo férreo.
- Diseñar y resolver un modelo de optimización, posiblemente combinado con técnicas multicriterio, que permita identificar en el nivel estratégico los mejores nodos de transferencia y modos de transporte multimodal para el manejo de contenedores.

3 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, a causa de la globalización, aumenta la trascendencia del intercambio de información, donde las telecomunicaciones, y el transporte cumplen un rol fundamental para lograr una eficaz circulación y distribución de personas y cosas.

El transporte de mercancías constituye una actividad importante realizada entre ciudades, así como al interior de las mismas. Dado que se ha presentado crecimiento del transporte por carretera, ha aumentado considerablemente, y, en consecuencia, el uso y abuso de redes de carreteras y han generado diversos factores externos como la congestión del tráfico y consumo de mayor energía y por tanto impactos ambientales negativos. Una eficiente organización espacial de sistemas de transporte multimodal tiene el potencial para aliviar esos factores externos y hacer sostenibles las ciudades, regiones y países, ayudando con la reducción de los impactos negativos sobre el consumo de energía y medio ambiente. Los sistemas de transporte multimodal también son útiles para ampliar la red de transporte de carga en los países en desarrollo, donde gran parte de la atención está centrada en sistemas de transporte de mercancías con camiones. En la actualidad, las instalaciones existentes de carreteras, ferrocarriles y puertos en los países en desarrollo son todavía poco desarrolladas. Las capacidades de la carretera, especialmente fuera de las zonas urbanas, son todavía insuficientes, y varios segmentos de la carretera tienen muy malas condiciones. Además, la mayoría de las terminales portuarias proporcionan niveles muy bajos de servicio debido a falta de equipos auxiliares. (Yamada, Frazila Russ, Castro, & Taniguchi, 2009)

Según el espacio físico donde se lleve a cabo el transporte, este puede adoptar diferentes modos. Ellas son: terrestre, marítimo, aéreo; la combinación de los modos se denomina transporte multimodal.

Según datos de la Comunidad Económica Europea, el valor del sector logístico ascendió al 13,8% del Producto Interno Bruto - PIB mundial en el año 2005, representando entre un 10% y un 15% del costo final de un producto elaborado. A nivel internacional, y teniendo en cuenta su importancia en el entorno económico mundial, la logística ha sido ampliamente usada como una de las variables que define el nivel de competitividad de un país en el momento de insertar sus productos en mercados globalizados. (Ministerio de Transporte, 2008)

En Colombia, la productividad del país ha experimentado en la última década una aceleración importante, pasando de un comportamiento recesivo en los últimos años de la década del 90 a tasas de crecimiento reales positivas y crecientes a partir del año 2000. Como resultado de esta tendencia, en los últimos 2 años el crecimiento real del PIB colombiano ha sido incluso mayor que el promedio de América Latina. (Ministerio de Transporte, 2008)

Por otro lado, y como una explicación a lo anterior, en el período 1997 a 2007, el comercio exterior colombiano de bienes medido como porcentaje del PIB, ha incrementado su participación pasando del 24,2% en 1997 al 34,6% en 2007, tal y como se puede observar en Gráfico 3. (Ministerio de Transporte, 2008), de igual forma, desde que Colombia inició conversaciones y negociaciones para los acuerdos de comercio internacional, el volumen de exportaciones ha registrado un incremento importante de acuerdo con estadísticas del DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), cifras que subieron de USD 7.244 millones en 1991 a USD\$ 60.208 millones al cierre de 2012.

El intercambio comercial de Colombia en valor FOB durante el período enero – septiembre del año 2015 alcanzó US\$ 67.231 millones, presentando un decrecimiento de 23,7% con respecto al mismo período del año 2014. En el período de estudio del 2015 el 41,6% corresponde a las exportaciones (US\$ 27.966 millones). La balanza comercial registra un mayor deterioro frente al mismo periodo del año anterior; para el año 2015 el déficit fue de US\$11.300 millones. La relación de precio implícito (valor FOB US\$/volumen kg.) en el período enero – septiembre de 2015, evidenció que el precio por kilo de las importaciones disminuyó 18,6% frente al mismo período del 2014, al pasar de US\$ 1,68 a US\$ 1,36 por kilogramo. De igual forma, el precio implícito exportado registró un a disminución de 27,1% al pasar de US\$ 0,39 por kilogramo en el 2014 a US\$ 0,28 por kilogramo en el 2015, (ver Tabla 3) (DIAN, 2016)

La extrema competitividad de los mercados ha convertido al transporte en uno de los ejes principales de las decisiones del comercio nacional e internacional. Al combinarse distintas formas de transporte se plantean serias dificultades en cuanto a su implementación debido a que cada una se rige por su régimen legal, comercial y de intereses específico, que podría generar conflicto de intereses entre ellos.

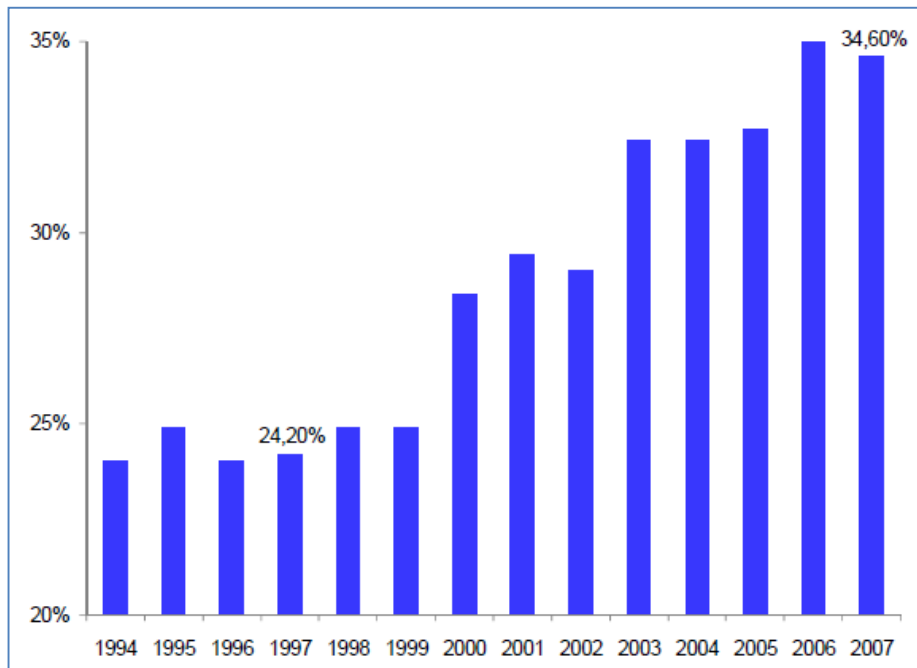
El auge y la necesidad actual de zonas francas y puertos secos en los corredores del país han llevado a pensar y a plantear en este trabajo las posibilidades de integración de los modos de transporte. Esta integración que se plantea debe propender por generar alternativas de competitividad de la logística en vez de pensar en la competitividad de un modo de transporte específico.

Actualmente en Colombia la evolución del modo de transporte terrestre por camión ha desplazado y relegado la evolución y desarrollo de los modos de transporte férreo, aéreo y fluvial. En este aspecto, el diseño de redes de transporte de carga multimodal puede llegar a facilitar el desarrollo económico de las regiones y países, así como ayudar a reducir el impacto ambiental negativo. Por lo tanto, es crucial que se lleven a cabo en zonas donde se da más prioridad a los sistemas de transporte de carga basado en la carretera (Yamada, Frazila Russ, Castro, & Taniguchi, 2009)

Los corredores viales existentes en Colombia además de caracterizarse por ser longitudinales (ver Gráfico 4) (Herrera C., 2010), es decir, atraviesan el país en

sentido norte – sur, presentan dificultades de movilidad por las características propias de la topografía nacional, además del diseño característico vial del país. El instituto nacional de concesiones, INCO, ha ponderado el modo de transporte terrestre como una política nacional, sin presentar estudios alternos que procuren la integración de los diferentes modos de transporte que bien podrían fortalecer la competitividad del país. (Mójica R., 2009) Para el caso de estudio, se tomará como base de análisis, el corredor Bogotá, Eje Cafetero, Buga, Buenaventura, el cual se denominará corredor sur.

Gráfico 3 Evolución del Comercio Exterior de Bienes Colombiano (% PIB)



Fuente: Cálculos DNP

Los sistemas de transporte de carga en Colombia han venido presentando avances importantes. Sin embargo, existe una carencia marcada de herramientas que permitan la planificación del transporte, involucrando las redes de transporte existentes, la infraestructura relacionada, los generadores de carga, etc.

La tendencia mundial en materia de movilidad de carga ha venido evaluando alternativas orientadas a la integración de los diferentes modos de transporte, generando con ello eficiencias importantes en lo referente a movilidad de carga (Canca, 2007) propone un método basado en la construcción y resolución de modelos matemáticos para la evaluación del transporte intermodal de mercancías. En este mismo aspecto, (Yevdokimov, 1997), presenta los beneficios económicos del transporte intermodal.

Las ventajas de la propuesta multimodal desde el punto de vista de la unitarización, es la utilización del contenedor para el manejo de los productos y de cómo este mecanismo de transporte infiere directamente en las formas

contractuales, en la seguridad de la carga y la movilización de ésta a granel o en el manejo de grandes volúmenes y pesos.

Tabla 3 Resumen del comercio exterior colombiano
Enero – septiembre 2014 - 2015

Concepto	2014		2015		Var. %
	Millones de dólares FOB	Part. %	Millones de dólares FOB	Part. %	
Exportaciones	42.931	48,73%	27963	41,59%	-34,9%
Importaciones	45.170	51,27%	39266	58,41%	-13,1%
Total intercambio comercial	88.101		67.229		-23,7%
Balanza comercial	-2.239		-11.303		
Peso neto millones de Kg.					
Exportaciones	110.428		98670		-10,6%
Importaciones	26.962		28780		6,7%
Precio implícito US\$/Kg.					
Exportaciones	0,39		0,28		-27,1%
Importaciones	1,68		1,36		-18,6%

Fuente: (DIAN, 2016)

El equilibrio de las capacidades de carga entre los generadores, zonas francas y puertos secos, presenta actualmente un desbalance que ocasiona grandes costos para los sistemas de transporte y por tal razón estos costos se traducen en un aumento en los costos logísticos en el país ver Gráfico 5.

La Política Nacional Logística busca articular iniciativas que faciliten el comercio y el transporte, políticas que se encuentran contenidas en documentos de política tales como el Documento CONPES 3469 de 2007, que define los lineamientos para el control de la mercancía buscando el fortalecimiento e implementación de inspección simultánea en puertos, aeropuertos y pasos de frontera; y en el Documento CONPES 3489 de 2007, en donde se establece la Política Nacional de Transporte Público Automotor de Carga orientada al fortalecimiento sub sectorial y a su inserción en la cadena de abastecimiento como eslabón estratégico para el desarrollo económico del país.

Por las razones expuestas anteriormente, los sistemas multimodales son una estrategia para trabajar los balances de carga entre los generadores en la industria y en el comercio interno.

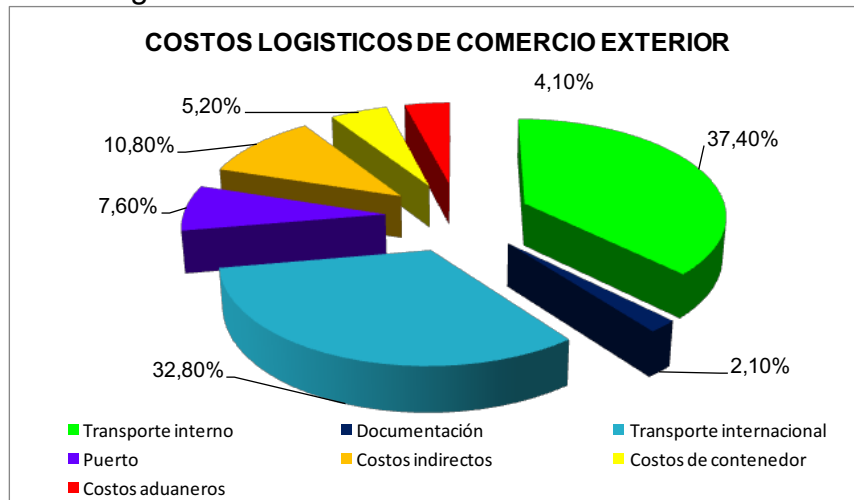
Gráfico 4 Principales corredores de comercio exterior



Fuente: (Ministerio de transporte, 2013)

Los sistemas de compensación de carga multimodal, mostrarán a los transportadores y a los generadores las oportunidades conjuntas con el fin de disminuir los desbalances y proyectar el transporte multimodal como alternativa de unión logística del transporte en Colombia.

Gráfico 5 Costos logísticos de Colombia -



Fuente: Elaboración DNP, con base en datos de MIDAS-USAID. Metodología de origen-destino, estimación de la distribución física internacional con base en contenedor seco

En la actualidad este corredor presenta inversiones importantes en infraestructura, enfocada al fortalecimiento del transporte de carga por camión, igualmente se ha venido fortaleciendo las plataformas de carga como el puerto seco, la ampliación del puerto de contenedores y de carga a granel, además de la inversión realizada en la adecuación de la línea férrea y la concesión del ferrocarril a un nuevo operador que unido a las adecuaciones en materia de aeropuerto en Buenaventura, refuerzan la importancia de buscar alternativas que integren los diferentes modos de transporte de carga en el país.

Se hace importante contar con información que mida y evalúe el desempeño de los diferentes modos de transporte en Colombia, a fin de garantizar el desarrollo de planes de corto, mediano y largo plazo que garanticen el desarrollo del sistema logístico en el país lo cual requiere la identificación de los usuarios y las necesidades de éstos, para la aplicación de los sistemas de transporte multimodal.

Se pretende entonces proponer una metodología de evaluación para la planificación y el diseño de una red de transporte multimodal de contenedores en el corredor sur de Colombia. La metodología que se avalúa debe permitir determinar un conjunto adecuado de acciones orientado a identificar la mejor combinación de modos de transporte que garantice la optimización tanto de los flujos, como de los costos y gastos logísticos asociados en el corredor mencionado.

Cabe destacar, que el presente estudio presenta las características de estudio piloto y la propuesta resultante podría servir de modelo para el desarrollo y optimización de nuevos corredores o de los corredores logísticos existentes en el país.

4 MARCO REFERENCIAL

ESTADO DEL ARTE

El transporte de carga en el mundo, se ha convertido en un tema de gran importancia, dado que involucra variables que tienen un gran impacto en el desarrollo tanto de las relaciones comerciales (comercio exterior), como en el medio ambiente (las descargas de partículas, dióxido de carbono, etc.), adicional de otros aspectos que son de interés como lo son los índices de accidentalidad, la movilidad, la interdependencia comercial y por ende el fortalecimiento de la competitividad de las naciones. En este orden de ideas, tanto los Estados como la academia han hecho de éste un tema que requiere ser abordado con sumo interés.

El siglo XXI dará un enfoque renovado en transporte intermodal de mercancías impulsado por los requerimientos cambiantes de las cadenas mundiales de suministro. Cada uno de los modos de transporte (aéreo, fluvial, océano, tubería, ferrocarril y carretera) son el resultado de la evolución tecnológica y han venido funcionando por separado bajo una estructura reguladora basada en los diferentes modos de transporte durante la mayor parte del siglo XX. Con el desarrollo de la contenedorización desde mediados de siglo XX, la reorientación hacia la desregulación cerca del final del siglo y un nuevo enfoque en la logística y los requisitos de cadena de suministro global, es el escenario perfecto para el crecimiento continuo de transporte intermodal. (Dewitt & Clinger, 2009)

El crecimiento del transporte intermodal de mercancías será impulsado y desafiado por cuatro factores (Dewitt & Clinger, 2009).

- Medición, comprensión y respuesta a la función de intermodalismo en los cambiantes requerimientos del cliente y la hiper competencia de las cadenas de suministro en un mercado global;
- La necesidad de una forma fiable y flexible para responder a los cambiantes requerimientos de clientes con coordinación integrada y transparente de los flujos de mercancías y equipos a través de diversos modos;
- El conocimiento de las actuales y futuras opciones operativas intermodales y alternativas, así como las posibilidades de información y tecnología de las comunicaciones y los desafíos asociados con su aplicación y restricciones.
- La coordinación de capacidad de infraestructura, incluyendo la política y las cuestiones normativas, así como mejorar la gestión de la infraestructura existente y consideraciones más amplias de la futura inversión en nueva infraestructura.

Los sistemas de transporte multimodal/intermodal son hoy materia de investigación y modelación, toda vez que han venido adquiriendo mayor interés en

la comunidad académica, en la medida que generan grandes transformaciones en el sector transporte, además de procurar impactos positivos en el medio ambiente. Como bien manifiesta (Canca, 2007) acerca de la importancia del estudio de los sistemas intermodales de transporte, estos “Promueven sobre todo la reducción de emisiones, ruidos y tráfico. Genera empleo, competitividad, desarrollo sostenible, cohesión territorial y disminución de costos, entre otros”.

Desde la década de los 90, se empieza a acuñar el concepto de sistemas de transporte intermodal, entendiéndose como transporte intermodal de mercancías al término utilizado para describir la circulación de mercancías en la misma unidad de carga o vehículo que utiliza en forma consecutiva diversos medios de transporte (carreteras, ferrocarril, agua) sin ningún control de las mercancías durante las transferencias entre modos (Conferencia Europea de Ministros de transporte 1993). El transporte intermodal de mercancías está empezando a ser investigado seriamente, y desde 1990 han aparecido a un número considerable de publicaciones analíticas que tratan específicamente las cuestiones de transporte intermodal.

Diversos problemas de decisión de transporte intermodal de mercancías exigen modelos para ayudar en la aplicación de técnicas de investigación de operaciones. Sin embargo, el uso de la investigación de operaciones en los problemas de transporte intermodal es todavía incipiente. Los sistemas de transporte intermodal son más complejos que el modelo mono modal y por lo tanto es más difícil a la investigación. (Macharis & Bontekoning, Opportunities for OR in intermodal freight transport: A review., 2004) Las primeras investigaciones se orientaron a establecer:

- ¿Qué hace del transporte intermodal de mercancías un problema de investigación interesante para los científicos de la investigación de operaciones?
- ¿Qué técnicas de investigación de operaciones se han aplicado y para qué?
¿Se han aplicado adecuadamente estas técnicas?
- ¿Existen enfoques alternativos para el mismo problema?
- ¿En qué medida contribuyen los problemas específicos de transporte intermodal al desarrollo general de técnicas de investigación de operaciones?

De acuerdo con (Yevdokimov, 1997), el estudio del transporte de mercancías se ha enfocado en establecer la relación beneficio/costo, o en la utilización de técnicas análisis financiero, rentabilidad, análisis de impacto de costos, economía del ciclo de vida y otros. Estas herramientas son válidas pero su aplicación en los sistemas de transporte multimodal podría subestimar el impacto económico general por falta de aspectos importantes relacionados con la mejora de la productividad y competitividad de las naciones.

Sostiene (Yevdokimov, 1997), que el transporte intermodal es un ejemplo de las tecnologías de llamados de propósito general (GPTs), que se caracterizan por los efectos secundarios estadísticamente significativos. La difusión de innovaciones secundarias y aumento de la demanda de capital humano específico son características básicas de GPTs. Finalmente, estas características afectan las principales variables macroeconómicas, especialmente de productividad. La literatura económica reciente afirma que para estudiar GPTs, deben combinarse pruebas de micro y macro para establecer una mejor comprensión de los mecanismos de conexión desde el nivel micro para el rendimiento general de una economía o el nivel de macro. El estudio de Yevdokimov, analiza estas cuestiones en relación con el transporte intermodal. El objetivo es comprender los mecanismos micro y macro, básicos detrás del transporte intermodal para desarrollar un marco riguroso para la evaluación de sus beneficios.

Las expansiones de las redes de transporte multimodal producen impactos significativos en la economía, los cuales se pueden dividir en 4 aspectos a saber:

1. Incremento en el volumen de carga en una red de transporte existente.
2. Reducción de los costos operacionales logísticos actuales.
3. Economías de escala asociadas con la expansión de las redes de transporte.
4. Mejor accesibilidad a la entrada y salida de los mercados.

Estos aspectos son analizados a profundidad en el estudio (Yevdokimov, 1997).

Las decisiones en las redes de transporte multimodal y la complejidad de las mismas, se orientan en lograr minimizar los costos de transporte, los costos de transferencia, reducción de los tiempos de transporte, selección de la mejor ruta, la integración de los diferentes nodos o plataformas intermodales más cercanas. (Caramia & Guerrero, 2009), consideran esta situación como el clásico problema de ruteo, donde se tiene una flota de vehículos disponibles para distribuirse a través de una red, para atender las demandas ponderada existente en los diferentes nodos o plataformas multimodales. Si bien, el modelo propuesto es más de carácter operativo, permite abordar algunas de las variables propias para la definición de un modelo apropiado para ser tenido en cuenta entre los diferentes métodos para la evaluación.

Sobre la base de dichas consideraciones, el trabajo (Caramia & Guerrero, 2009), se refieren a una aplicación de la vida real, que estudia cómo apoyar la operación logística en todas las fases del proceso de decisión de la organización de transporte multimodal. Propone dar una respuesta global en los niveles siguientes de dos diferentes planificaciones.

- Diseño de los servicios de la red (por ejemplo, fase táctica), cuyo objetivo como operador multimodal es la definición del mejor conjunto de servicios

de transporte y logística que atienda las solicitudes genéricas de los clientes;

- Programación de transporte (por ejemplo, la fase operativa), cuando el operador decide cómo satisfacer solicitudes específicas de clientes.

El modelo propuesto considera cada arco asociado con una carretera, por ferrocarril o modo marítimo, los cuales deben ser caracterizados por los siguientes tres parámetros:

- Longitud, es decir, la distancia, en km, entre los arcos que unen los diferentes nodos;
- Tiempo de viaje, es decir, el tiempo, en minutos que dura atravesar el arco;
- Compatibilidad, por ejemplo, qué tipos de trenes o red marítima o fluvial pueden servir el arco.

Cuando se hace el cambio de un modo de transporte, deben considerarse restricciones propias de operación de la plataforma de intercambio modal tales como:

- Que cada plataforma tiene una capacidad limitada, es decir, un número máximo de productos puede procesarse cada día;
- El número de horas de apertura y cierre diarias para recibir, y no pueden manejar cargas fuera de estos intervalos de tiempo

En términos generales, (Caramia & Guerrero, 2009) contemplan en su modelación los siguientes aspectos:

Restricciones y objetivos en el problema de transporte estudiado

Restricciones de capacidad de los vehículos
Intervalos de tiempo de recogida y entrega
Nodos de origen
Nodos de destino
Compatibilidad entre los modos de transporte
Compatibilidad de la red en las plataformas

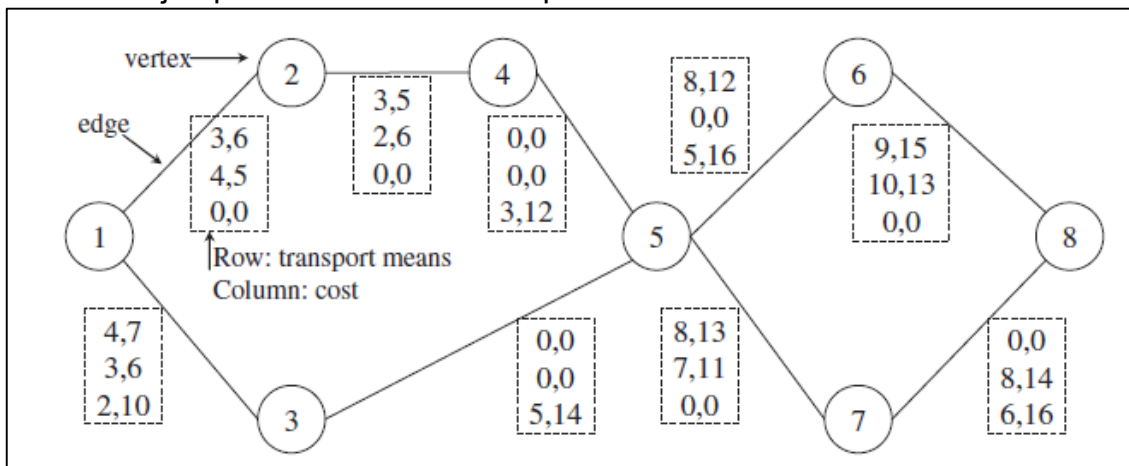
Objetivo

Minimizar los tiempos de ruta
Minimizar los costos de la ruta
Maximizar el índice de compatibilidad en el modo de transporte

En esa misma línea (Zhi-Hua-Hu, 2011) aborda el problema de transporte multimodal desde una perspectiva diferente, pero conservando la misma esencia. En su propuesta, contempla un modelo de transporte multimodal eficiente para la atención de desastres, donde se pretende optimizar el traslado de las ayudas que llegan para mitigar los impactos causados en los desastres. El autor presenta un modelo de programación lineal entera con multiobjetivo, orientado a minimizar los

costos asociados, tales como los costos de transporte, costos de transferencia (de un modo de transporte a otro), así como, seleccionar la mejor ruta, el menor tiempo de transporte y los menores costos. El Gráfico 6, presenta una red de transporte multimodal, donde se representa los nodos de intercambio modal, los costos de tres (3) modos de transporte (rieles, carretera y agua respectivamente). El objetivo es trasladar mercancía desde el punto de origen 1 al destino 8.

Gráfico 6 Ejemplo de una red de transporte multimodal



Fuente: (Zhi-Hua-Hu, 2011)

Las investigaciones en materia de transporte han dado un vuelco trascendental y se han orientado en procurar la integración de los diferentes modos de transporte para la movilización de carga en la medida que genera grandes transformaciones en el sector transporte, además de procurar impactos positivos en el medio ambiente. (Canca, 2007)abordan la importancia del estudio de los sistemas intermodales de transporte, toda vez que promueven la reducción de emisiones, ruidos y tráfico; genera empleo, competitividad, desarrollo sostenible, cohesión territorial y disminución de costos, entre otros

El desarrollo de redes de transporte multimodal, requiere de un reconocimiento claro de los costos asociados, en este aspecto, (Janic, 2007) desarrolla un modelo de cálculo de costos comparables combinados internos y externos en las redes de transporte de carga intermodal y carretera. Los costos internos consisten en los costos operacionales y privado a cargo del transporte y operadores de terminales intermodales y los costos de tiempo de bienes vinculados en tránsito. Los costos externos incluyen los costos de los impactos de ambas redes de la sociedad y el medio ambiente, como accidentes de tráfico, la contaminación acústica, congestión y la contaminación del aire local y global. El modelo se aplica a las configuraciones simplificadas de ambas redes mediante las entradas desde el sistema de transporte de mercancías europeas. El objetivo es investigar algunos efectos de la política de la Unión Europea, que pretende internalizar los costos externos del transporte, en la competencia posible entre dos redes desde una perspectiva social. Esta aproximación presentada, permitirá involucrar los efectos

de índole económico y social en la modelación de los sistemas de transporte multimodal, permitiendo dar trascendencia a las variables externas involucradas.

Por último, un tema importante en la configuración de redes de transporte multimodal y que no se puede dejar de lado, está relacionado con la localización óptima de los nodos de intercambio modal o plataformas multimodales. Para el caso colombiano, adquiere gran relevancia, toda vez que es un aspecto que se considera en la política nacional. En este sentido, (Sirikijpajanichkul Ackchai, 2007) desarrolla un modelo integral para la evaluación de decisiones de ubicación de plataformas de concentración de los modos de transporte ferrocarril-carretera, transporte intermodal. El modelo compone de cuatro agentes dominantes, es decir, propietarios de concentrador o los operadores; proveedores de infraestructura de red de transporte; usuarios del centro; y las comunidades. Un enfoque de modelado de base es introducido para permitir tal negociación con el propósito de alcanzar un objetivo global. Se describe la metodología que se utilizará, se presenta un proceso de selección de ubicación inicial, una prueba con funciones objetivos individuales, y un diseño de modelo para un agente basado en el estudio de un caso de decisión de ubicación de plataforma de transporte intermodal de mercancías en el sureste de Queensland de Australia.

En ese mismo sentido, (Kayikci Y. , 2010) considera que la ubicación de los centros de logística son un elemento clave para mejorar la eficiencia de los sistemas de transporte urbano de mercancías e inicializar las actividades de cadena de suministro; para ello, debe seleccionarse cuidadosamente la ubicación de un centro de logística de transporte intermodal; de lo contrario puede provocar consecuencias irreversibles en la planificación de la ciudad y también puede crear cuellos de botella que conducen al rápido aumento en el costo de proporcionar soluciones de transporte. Todos los factores que influyen para la determinación de una ubicación deben considerarse y estar bien planificados.

Considera (Yamada, Frazila Russ, Castro, & Taniguchi, 2009), que el diseño de redes de transporte de carga multimodal puede facilitar el desarrollo económico de las regiones y países, así como ayudar a reducir el impacto ambiental negativo. Por tanto, es crucial que se lleven a cabo en zonas donde se da más prioridad en los sistemas de transporte de carga basado en la carretera. Propone un modelo para la planificación, particularmente en el desarrollo del terminal de transporte de mercancías y diseño de redes de transporte de carga interregional del transporte estratégico. El modelo determina un conjunto adecuado de acciones de un número de posibles acciones, tales como la mejora de la infraestructura existente o el establecimiento de nuevos caminos, ferrocarriles, mar y terminales de transporte. El modelado se realiza en el marco de programación Motors EMD, donde una técnica de asignación de tráfico de usuario multiclass multimodal se incorpora en el problema de nivel inferior, mientras que el problema de nivel superior determina la mejor combinación de acciones que maximiza la relación de costo beneficio relacionadas con el transporte de mercancías. El problema de nivel superior implica optimización combinatoria, y se aplica un enfoque heurístico basado en genética y búsqueda local como una técnica de solución. Se presentan resultados

empíricos del modelo aplicado a una red de transporte de gran tamaño real interregional de transporte intermodal para mostrar esa búsqueda local genética que podría proporcionar un mejor rendimiento en comparación con otros genéticos basados en el algoritmo, así como tabú basada en la búsqueda heurística. El modelo se aplica con éxito para el transporte de planificación de la red en Filipinas, donde el desarrollo de una red de transporte de carga es necesario aumentar la utilización de otros modos en lugar de vehículos de carretera.

El desarrollo de este estudio en Colombia y particularmente en el corredor sur, pretende generar cuestionamientos en materia de transporte interregional de mercancías por contenedor, al igual que proponer un modelo que busque la integración de los diferentes modos de transporte, procurando minimizar costos, tiempos, recorridos y generar impactos positivos al medio ambiente, mediante una disminución en la emisión de partículas, dióxido de carbono, etc.

La utilización de TIC's, la generación de alternativas que procuren un posible balance en la movilización de carga a través de la búsqueda de mecanismos que procuren la generación de cargas de compensación, consolidación de carga y de información compartida, permitirán un escenario de búsqueda de la competitividad en el comercio.

Un aspecto de gran importancia en la evaluación de una red de transporte multimodal, está relacionado con la localización de los centros o plataformas de intercambio modal, pues al igual que el transporte se convierte en un tema de vital importancia que redundará en la reducción de costos. En este aspecto, las investigaciones se han orientado a la incorporación de modelos de análisis multicriterio para la toma de decisiones, en particular, (Awasthi, Chauhan, & Goyal, 2011), presentan una metodología basada en lógica difusa para la localización de centros de distribución urbana, si bien, el contexto de la localización de plataformas multimodales presenta un mayor alcance que la localización urbana de centros de distribución, el modelo propuesto presenta variables que igual tienen importancia en la constitución de redes de transporte multimodal, pues contempla aspectos como identificación de posibles ubicaciones, selección de criterios de evaluación, uso de la teoría de la lógica difusa para cuantificar los valores de los criterios, en virtud de la incertidumbre y la aplicación de método para la evaluación y selección de la mejor ubicación. Igualmente, el modelo de lógica difusa, permite un análisis de sensibilidad para la determinación de la influencia de los pesos de los criterios en las decisiones de planificación de localización. Un hecho relevante del método propuesto por los autores, es que el modelo permite afrontar con mayor grado la incertidumbre que surge debido a la falta de datos reales.

El estudio "Optimizing the Location of Intermodal Freight Hubs: An Overview of the Agent Based Modelling Approach." (Sirikijpajanichkul Ackchai, 2007) (Sirikijpajanichkul Ackchai, 2007), presenta un modelo integral para evaluar decisiones de localización de zonas de intercambio modal. El modelo busca conjugar los intereses de los cuatro agentes dominantes, es decir, los propietarios u operadores de contenedores, de los proveedores de infraestructura de red de

transporte, usuarios de contenedores, y las comunidades. Se introduce un enfoque de modelado basado en agentes para permitir que dicha negociación ocurra para lograr un objetivo global. El documento describe la metodología que se utilizará. También se presenta un proceso inicial de selección de ubicación, una prueba con funciones objetivo individuales, y un diseño de un modelo basado en agentes mediante un estudio de caso de estudio de decisiones de localización de hubs intermodales de carga en el sudeste de Queensland de Australia. (Baird, 2006), presenta una metodología para la evaluación de la localización de centros para el transbordo de contenedores, donde el autor se enfoca en las actividades específicas de transbordo. Si bien, no es el objeto de este estudio, sí es claro que el concepto de transbordo de contenedores reviste importancia en el contexto de intercambio modal y es donde la localización y los factores a evaluar de acuerdo con este enfoque, adquieren relevancia.

La configuración de una red de transporte multimodal, es un problema que ha generado un gran interés en la comunidad científica y ha sido abordado para dar solución a los problemas de logística, se puede apreciar en las investigaciones abordadas, que la configuración de una red de transporte intermodal tiene relación directa con el problema de localización de hubs "Hub location problem", partiendo de las diferentes tipologías que presenta Woxenius en su trabajo. Es evidente que la solución al problema de localización de hub, tiene como objetivo minimizar los costos totales de transporte, para lo cual

5 DISEÑO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la investigación objeto del presente estudio, conlleva la implementación de una metodología que permita a partir de la información obtenida a través de la exploración, plantear alternativas o acciones que permitan además de dinamizar el sistema de plataformas logísticas en Colombia.

TIPO DE INVESTIGACION

Dado que la integración de los diferentes modos de transporte no ha sido explorada a profundidad en Colombia, el proyecto objeto de esta investigación, se abordará desde la perspectiva de un estudio exploratorio, para los cual, se tendrán los siguientes aspectos en esta fase:

- Se recopilará toda la información pertinente relacionada con el diagnóstico de la infraestructura existente en todos los componentes de la cadena de abastecimiento, aspecto que incluye:
 - - Diagnóstico de la infraestructura que compone el corredor Bogotá-Eje cafetero-Buga-Buenaventura, identificando características de la infraestructura, capacidad, sitios críticos, variantes alternativas, planes en el corto, mediano y largo plazo.
 - Diagnóstico de la infraestructura de transporte, identificando en este aspecto capacidades, localización, infraestructura física, planes en el corto, mediano y largo plazo, conexiones con otros modos de transporte, infraestructura por modo de transporte (sistema vial, sistema ferroviario)
 - Diagnóstico de generación de carga contenedorizada, que comprende la identificación de las zonas francas y patios de contenedores, destinos de la carga en el corredor sur, infraestructura requerida para el transporte de la carga, cantidad de carga generada con su respectiva frecuencia, caracterización de la carga a transportar.
 - Diagnóstico de puertos, identificando capacidades, tipo de carga contenedorizada que operan, planes de corto, mediano y largo plazo, infraestructura existente, etc.

Una vez identificada y recopilada toda la información diagnóstica existente, se pretende retomar la información teórica desarrollada para a partir de ella elaborar una modelación de un sistema de transporte multimodal contenerizado para el corredor Bogotá-Eje cafetero-Buga-Buenaventura.

Se pretende a partir de la modelación configurar una propuesta de plataforma logística que propenda por la optimización del sistema, garantizando bajos costos, alta funcionalidad, integración de los diferentes modos de transporte. Se pretende igualmente determinar el tamaño óptimo de la infraestructura necesaria para el sistema logístico multimodal en el corredor definido como objeto de investigación.

El diseño del modelo de optimización con la ayuda de herramientas multicriterio permite integrar posibles soluciones de ubicación y complementos de carga por modo de transporte así como los impactos cualitativos de la red.

En la determinación de los datos de origen y destino se tendrán presente los flujos de carga contenedorizada entre las zonas francas de la red y el puerto.

6 DIAGNÓSTICO DE LA RECEPCIÓN Y MOVILIZACIÓN DE CARGA CONTENEDORIZADA POR MODO DE TRANSPORTE

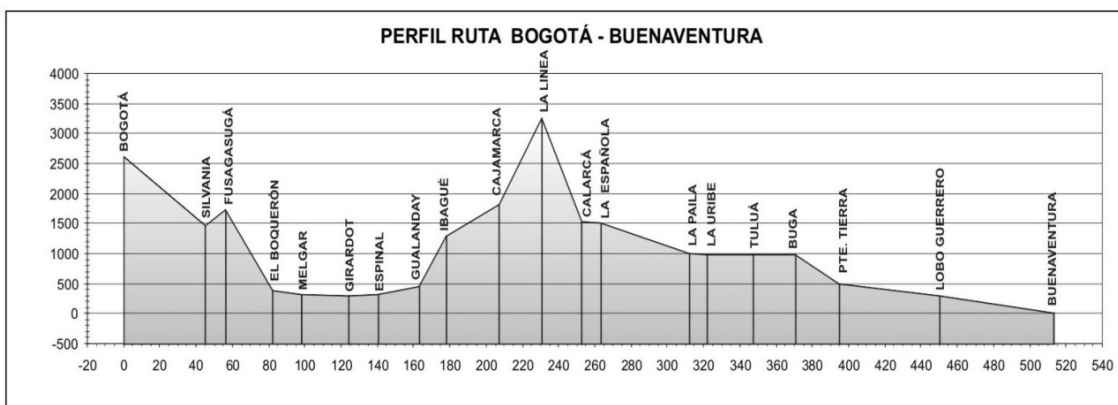
6.1 CARACTERIZACIÓN CORREDOR BOGOTÁ BUENAVENTURA

El documento CONPES 3422 y 3045 del programa de concesiones viales 1998-2000 priorizó el corredor Bogotá Buenaventura. La estructuración de este corredor se inició en 2002 y dió origen a la concesión de doble calzada Bogotá- Girardot. Así mismo, mediante el documento CONPES 3410 se recomendó como política de estado para mejorar las condiciones de vida de la población de Buenaventura.

Adicionalmente, a través de estudios realizados por el gobierno y la cooperación internacional se identificó que cinco de los principales corredores de comercio exterior concentran el 83% de la carga movilizada. Uno de estos es el corredor Vial Bogotá Buenaventura que es considerado como uno de los ejes más importantes de la red nacional de carreteras, ya que integra al puerto de Buenaventura, principal puerto Colombiano sobre la costa Pacífica, con el interior del país.

El Gráfico 7 muestra el perfil topográfico del Corredor Bogotá – Buenaventura, considerado como uno de los 20 corredores estratégicos, que ha sido seleccionado para la implementación de una prueba piloto de gerenciamiento, al igual que en la estructuración de mejoras logísticas que descongestionen el puerto y den mayor fluidez al corredor (ANDI- Asociación Nacional de Empresarios, 2014). En la actualidad el corredor consta de 526 kilómetros donde se movilizan en el año más de tres millones de toneladas de importación y un millón de carga de exportación, para un total de 4 millones origen – destino completo. Sin embargo, existen niveles más altos en algunos tramos como por ejemplo Bogotá – Girardot y Buga –Buenaventura, en este último se movilizan alrededor de 14 millones de toneladas anuales.

Gráfico 7 Perfil ruta Bogotá – Buenaventura vía terrestre.



Fuente: (Ministerio de Transporte , 2010)

En los análisis de estos estudios se determinó que el tramo Buga Buenaventura se encuentra un cuello de botella en el tramo Loboguerrero a la altura de Citronela.

La Tabla 4, muestra un perfil topográfico del corredor Bogotá – Buenaventura por segmentos, se aprecia que 194 Km del corredor se encuentra en terreno netamente montañoso, que unido a los tramos ondulados, correspondiente a 188 Km y los tramos planos, correspondiente a 111 Km, hacen del corredor un recorrido lento con una velocidad media teórica de 30 Km/hr. (IDORN CONSULTING, 2012)

Tabla 4 Perfil geográfico de la Ruta Bogotá Buenaventura Terrestre.

SECTORES	KM	TIPO DE TERRENO		
		PLANO	ONDULADO	MONTAÑOSO
BOGOTA-SILVANIA	45			45
SILVANIA- GIRARDOT	80		20	60
GIRARDOT- IBAGUE	54	50		4
IBAGUE- ARMENIA	85			85
ARMENIA- LA PAILA	50		50	
LA PAILA- BUGA	61	61		
BUGA- BUENAVENTURA	118		118	
TOTAL	493	111	188	194

Fuente: (Ministerio de Transporte , 2010)

Tabla 5 Tabla Matriz de distancias. Origen – Destino

MATRIZ DE DISTANCIAS EN KM													
RUTA BOGOTÁ - BUENAVENTURA											BUENAVENTURA		
										LOBOGUERRERO	63		
									BUGA	55	118		
								LA PAILA	61	116	179		
							LA ESPANOLA	50	111	166	229		
						CAJAMARCA	56	106	167	222	285		
					IBAGUE	29	85	135	196	251	314		
				ESPINAL	38	67	123	173	234	289	352		
			GIRARDOT	16	54	83	139	189	250	305	368		
		MELGAR	27	43	81	110	166	216	277	332	395		
	BOQUERON	16	43	59	97	126	182	232	293	348	411		
	SILVANIA	37	53	80	96	134	163	219	269	330	385	448	
	BOGOTA	45	82	98	125	141	179	208	264	314	375	430	493

Fuente: (Ministerio de Transporte , 2010)

A lo largo del corredor, se presentan una cantidad importante de ciudades que son Origen y Destino de la mercancía que se moviliza por el corredor Bogotá – Buenaventura, ciudades que para efectos del proyecto de investigación objeto de este estudio, serán los nodos generadores y/o receptores de carga, la Tabla 5, muestra las principales ciudades que se encuentran a lo largo del corredor y sus respectivas distancias entre sí.

El corredor presenta algunos tramos concesionados, y tramos en proyecto de concesión, igualmente cuenta con algunos tramos que siguen a cargo de INVIAS, concesionados que bajo esta modalidad recuperan la inversión con el recaudo del valor correspondiente a peajes, ver Tabla 6,:

Tabla 6 Tarifas de peajes en el corredor Bogotá - Buenaventura

Tramo	Sector	Km	Gestión Vial Actual	Peajes	Costo Categoría IV Contenedor 20''	Costo Categoría V contenedor 40''
Bogotá – Buenaventura	Bogotá -Girardot	125	Concesión Autopista Bogotá- Girardot	Chinauta y Chusaca	71.200	81.600
	Girardot –Ibagué	54	Concesión San Rafael S.A	Gualanday Flandes	45.100	61.000
	Ibagué -Armenia	85	Construcción Túnel La Línea	Cajamarca	21.800	24.500
	Armenia - La Paila	50	Parte Concesión Autopistas del Café y Proyecto de ampliación concesión Buga la paila	Corozal	11.100	27.100
	Buga - La Paila	61	Concesión Unión Temporal Desarrollo Vial Del Valle Del Cauca Y Cauca	La Uribe, Betania	64.400	71.400
	Buga - Buenaventura	118	Loboguerrero - Buga S.A.S, Proyecto de concesión Buga-Buenaventura. Mientras tanto mantenimiento a cargo de Invias	Loboguerrero	24.600	28.100
Total			493	9	238.200	293.700

Fuente: Creación Propia con Información Peajes y Concesiones (Agencia Nacional de Infraestructura, 2016)

El gobierno en el plan mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento óptimo de vías en la red vial principal; busca mantener estándares o niveles de servicio adecuados y prolongar la vida útil del pavimento existente evitando su deterioro para evitar el aumento del pasivo vial, como consecuencia de la caída de los tramos en buen estado, el aumento de aquellos en mal estado y la disminución de los tramos de condición regular y prevenir y atender las emergencias presentadas en la red vial.

6.2 CARACTERIZACIÓN RED FÉRREA BOGOTÁ- BUENAVENTURA

La red férrea colombiana cuenta con una extensión de 3463 Km, de los cuáles 150 Km. son de carácter privado (Cerrejón), 1322 Km que se encuentran inactivos, 1991 Km corresponden a tramos férreos que durante el período 1998 – 1999 fueron asignados a empresas privadas bajo el modelo de concesión, de los cuales en la actualidad 1672 Km. están bajo la administración de la Agencia Nacional de Infraestructura ANI y 319 Km del Instituto Nacional de Vías - INVIAS. (CÁMARA COLOMBIANA DE INFRAESTRUCTURA, 2012)

La red férrea Bogotá – Buenaventura, no es una red continua, en la actualidad cuenta con dos tramos que se encuentran habilitados, el tramo Bogotá – La Dorada (Caldas), que tiene una extensión de 195 Km y el tramo La Felisa (Caldas) con una extensión de 498 Km, que hacen parte de la red férrea del Atlántico y la red férrea del Pacífico respectivamente, el tramo La Dorada – La Felisa, es un

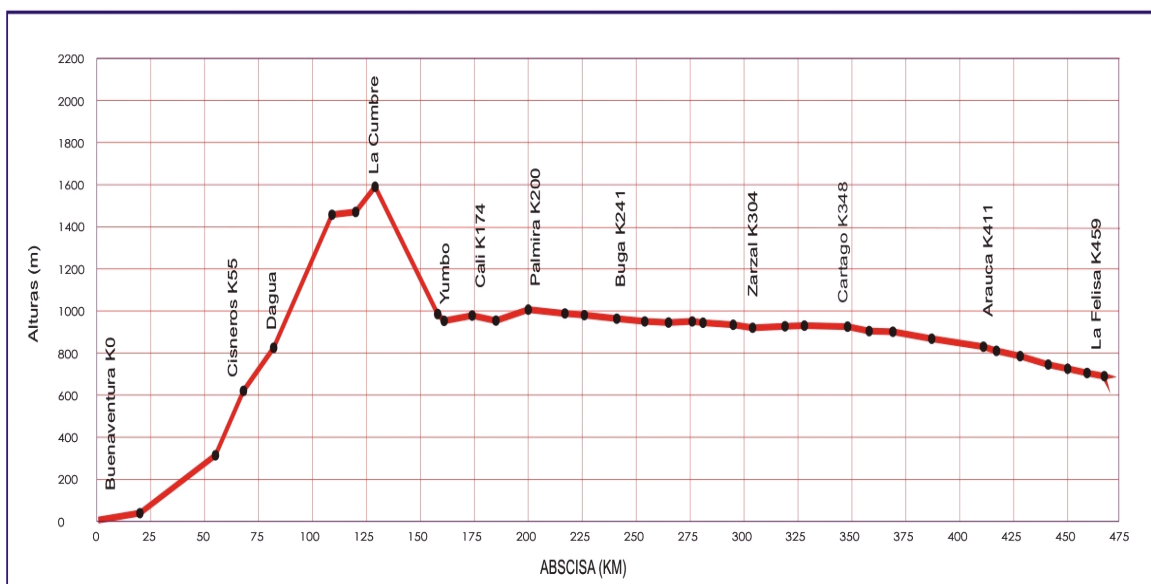
tramo de 227 Km que no se encuentra habilitado y que es necesario construir. (CÁMARA COLOMBIANA DE INFRAESTRUCTURA, 2012)

6.2.1 Red Férrea del Pacífico

La red férrea del Pacífico compuesta por 4 tramos (ver Tabla 7) fue entregada en concesión en 1998 por un período de 30 años de contrato con Ferrocarril del Oeste, el contrato tenía como compromiso operar y mantener la vía férrea Buenaventura – Zaragoza y Zarzal – La Tebaida, con una extensión de 380 Km, una vez se habilite el tramo Cartago – La Felisa, se asumiría la operación de 118 Km adicionales para un total de 498 Km. El ferrocarril del Oeste inició operaciones en 2008, en 2011 el concesionario presenta dificultades financieras y suspende actividades a partir de ese momento, con el ingreso de nuevos inversores colombo-americanos, se reactiva las operaciones, quien rehabilita los tramos existentes y entra en operación con el transporte de 10000 ton/mes de empresas como Manuelita, Argos, Industrias del Maíz, Hapag-Lloyd, NeOgasy LG. (CÁMARA COLOMBIANA DE INFRAESTRUCTURA, 2012). Aceptada la inyección de capital por el gobierno, cercana a los US\$ 70M, con el compromiso de que se gestionara el retiro de la demanda por parte de los primeros socios propietarios. Cabe destacar, que no se contempla el cambio de trocha angosta a trocha ancha, debido a la alta demanda de recursos. El Gráfico 8, muestra un perfil del trazado de la red férrea del pacífico y el Gráfico 9 permite apreciar la ruta de la red a su paso por el Valle del Cauca.

Gráfico 8 Red Férrea del Pacífico

Perfil de la vía férrea
Buenaventura - La Felisa



Fuente: (Tren de occidente, 2015)

Gráfico 9 Red Férrea del Valle del Cauca



Fuente: (Tren de occidente, 2015)

La red férrea del Pacífico, que va desde La Felisa hasta Buenaventura, tiene una extensión de 498 Km, de los cuáles 169 Km entre Buenaventura y Cali, se encuentra en operación y se está utilizando para el tránsito comercial de carga, los tramos entre Cali - Cartago y Zarzal – La Tebaida de 169 Km y 42 Km respectivamente, se encuentran en rehabilitación, en tanto el tramo Cartago-La Felisa, se encuentra en construcción y rehabilitación. (ver Tabla 7).

Tabla 7 Red férrea del Pacífico

RED FÉRREA DEL PACÍFICO. CONCESIONARIO FERROCARRIL DEL PACÍFICO				
Tramos	Km	Estado	Observación	Total
Buenaventura - Cali	169	Operación comercial de carga	Carga mixta, desde y hacia el puerto de Buenaventura.	498
Cali - Cartago	169	Rehabilitación	Construcción soluciones definitivas en 6 puntos afectados por la ola invernal 2010-2011	
Zarzal - Tebaida	42	Rehabilitación	Construcción solución definitiva en 1 punto afectados por la ola invernal 2010-2011	
Cartago - La Felisa	118	Construcción-Rehabilitación	Tramo a cargo de la Empresa Tren de Occidente. Suspendido, Tribunal de Arbitramento en curso.	

Fuente: (Ministerio de Transporte, 2015)

6.2.2 Carga Movilizada por modo de transporte férreo

Entre los años 2004 y 2011, se ha movilizado por modo férreo cerca de 1'036.562 toneladas, como se puede apreciar en la Tabla 8.

Tabla 8 Carga movilizada Red férrea del Pacífico

AÑO	Carga (Ton/año)
2004	131.804
2005	88.827
2006	107.402
2007	84.424
2008	77.547
2009	254.007
2010	259.321
2011	33.230
Total	1.036.562

Fuente: (CÁMARA COLOMBIANA DE INFRAESTRUCTURA, 2012).

El corredor férreo del Pacífico, cuenta con una oportunidad importante para el desarrollo logístico, toda vez que por el puerto de Buenaventura transita poco más del 50% de las exportaciones del país, aspecto que brinda un llamado para fortalecer la red del pacífico, teniendo en cuenta que cuando operaba, tan sólo podía movilizar el 2% de la carga que se generaba. En este sentido, la entrada en operación del tramo Yumbo – Buenaventura en 2012, con una longitud de 170 Km fue un impulso importante para el surgimiento de este corredor, en la medida que se mantenga la recuperación gradual de la línea férrea hacia el norte del Valle y hasta La Tebaida. Los tramos rehabilitados están operativos, al igual que los equipos para la movilización de la carga, que han sido adquiridos y los existentes repotenciados mediante un overhaull. (CÁMARA COLOMBIANA DE INFRAESTRUCTURA, 2012).

6.3 MOVILIZACIÓN DE TRANSPORTE DE CARGA

La movilización de carga a nivel nacional se realiza en gran medida por vía terrestre, para 2013 se movilizaron aproximadamente 220'308,586 Ton, donde los vehículos C2 son los que realizan el 60% de los viajes, sin embargo, solo movilizan el 24% de la carga, en tanto los C3S3 participan en el 45% de transporte de carga y solo representan el 18% de los viajes. (Tabla 9) (Consortio GSM, 2014).

Tabla 9 Carga total distribuida por tipo de vehículo

<i>Tipo de Camión</i>	<i>Carga Transportada (Ton)</i>	<i>Participación</i>
C2	53.017.667	24%
C3	18.037.703	8%
C4	10.738.702	5%
C3S2	39.506.001	18%
C3S3	98.329.854	45%
Otros	678.610	0%
Total General	220.308.537	100%

Fuente: (Consortio GSM, 2014)

La participación según el tipo de carga, muestra que el 46.1% corresponde a productos industriales, seguido por el 27% de productos agroindustriales (ver Tabla 10), entre estos dos sectores, el total de carga movilizada supera los 161 millones de toneladas, que representa el 73% del total de la carga movilizada en Colombia. (Consortio GSM, 2014)

Tabla 10 Participación de carga y viajes por sector

<i>Sector</i>	<i>Total Carga</i>	<i>Participación</i>
Agroindustriales	59.550.892,66	27,0%
Industriales	101.625.168,76	46,1%
Minero	20.797.422,43	9,4%
Productos agrícolas	38.329.416,01	17,4%
Otros	5.635,70	0,0%
Total General	220.308.536	100%

Fuente: (Consortio GSM, 2014)

6.3.1 Generación y Atracción de Carga por Departamento.

La movilización de carga en el país se concentra en 10 departamentos, siendo el Valle del Cauca el departamento con mayor generación y atracción de carga, con el 13% y el 18% respectivamente, le sigue Bogotá y Cundinamarca, que agregados generan y atraen el 17% respectivamente (ver Tabla 11), los departamentos con menos participación son Vaupés, Guainía y Amazonas, en conjunto atraen 21606 Ton y generan 591 Ton. aproximadamente. (Consortio GSM, 2014)

Tabla 11 Generación y atracción de carga por departamento

Departamento	Atracción	Generación	% de Atracción	% de Generación
Valle del Cauca	28.672.932	39828514	13%	18%
Bogotá	24.142.253	23224969	11%	11%
Antioquia	22.643.697	18402777	10%	8%
Atlantico	14.082.501	12418285	6%	6%
Cundinamarca	13.683.972	13218467	6%	6%
Meta	12.148.942	11681278	6%	5%
Bolivar	11.818.175	13430003	5%	6%
Boyacá	10.010.987	15270664	5%	7%
Santander	9.253.021	8507920	4%	4%

Fuente: Fuente: (Consortio GSM, 2014)

6.3.2 Movilización de carga contenedorizada

El mismo informe del Ministerio de Transporte, permite apreciar que alrededor del 6% de la carga nacional se transporta en contenedores, para un total de cerca de 15 millones de toneladas, el contenedor de mayor uso es el convencional de 20 o 40 pies (1 o 2 TEUS), con una participación del 73% (Tabla 12) (Consortio GSM, 2014)

Tabla 12 Movilización de carga por tipo de contenedor

Tipo de Camión	Convencional	Refrigerado	Techo Abierto	Total	Participación
C3	504.627	3.351	104.783	612.761	4,0%
C4	1.428.103	16.092	464.325	1.908.520	12,5%
C3S2	2.605.737	87.713	1.032.157	3.725.607	24,3%
C3S3	6.596.589	32.882	2.358.388	8.987.859	58,7%
Otros	44.211	-	22.497	66.708	0,4%
Total General	11.179.267	140.038	3.982.150	15.301.455	
Participación por tipo de contenedor	73,1%	0,9%	26,0%		

Fuente: (Consortio GSM, 2014)

Con respecto al origen y destino de la carga, el resultado presentado por él informa muestran que el 57% de carga movilizada en contenedores se efectúa entre las ciudades portuarias y las principales ciudades del país, como Bogotá,

Cali y Medellín, siendo el principal origen de la carga Buenaventura y el principal destino la ciudad de Bogotá (ver Tabla 13) (Consortio GSM, 2014)

Tabla 13 Transporte de carga en contenedores

Origen/Destino	Barranquilla	Bogotá D.C	Buenaventura	Cali	Cartagena de Indias	Medellín	Santa Marta	Total Generado
Barranquilla		312.927	17.118	145.053	65.118	344.372	4.651	889.239
Bogotá D.C	279.778		206.802	596	456.304		58.099	1.001.579
Buenaventura	35.855	1.242.073		861.101	30.767	506.808	7.353	2.683.957
Cali	223.402		267.887		225.471		42.307	759.067
Cartagena de Indias	141.995	840.004	26.744	249.606		780.024	30.013	2.068.386
Medellín	188.372		69.107		439.098		60.257	756.834
Santa Marta	44.853	146.079	9.127	24.054	3.616	97.857		325.586
Total Atraido	914.255	2.541.083	596.785	1.280.410	1.220.374	1.729.061	202.680	8.484.648

Fuente: (Consortio GSM, 2014)

La distancia entre los pares de orígenes y destinos, se puede apreciar en la matriz de la Tabla 14.

6.3.3 Costos de Transporte por Carretera en Colombia

EL SICE-TAC, es un sistema de información que nos permite medir o calcular los costos de la operación de transporte de acuerdo a las características propias de cada viaje: tipo de vehículo, tipo de carga, origen/destino, horas estimadas de espera, cargue y descargue, la Tabla 15, muestra los costos de los fletes entre pares origen destino, obtenidos a partir del Sistema de Información diseñado y administrado por el Ministerio de Transporte, cabe mencionar que desde 2011 el Ministerio de Transporte eliminó la tabla de fletes y en su lugar él se presentó el Sistema de Información de Costos Eficientes – SICE.; la Tabla 16, presenta los tarifas asociadas a la movilización de carga.

Las tarifas utilizadas al 2015 en modo férreo variaron entre un 30% y 25% menos al modo transporte carga por carretera, esto dependiendo de los volúmenes manejados, en los meses del 2015 de operación del ferrocarril.

Sus operaciones se segmentaron al transporte de granel, metales y muy pocos contenedores transportado desde Buenaventura a Yumbo dirigidas a almacenadoras, así como el transporte de contenedores vacíos. (Entrevista con área comercial de Tren de Occidente.)

Tabla 14 Matriz de distancias origen – destino (Km)

Nodo		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	Ciudad	Arm.	B/quilla	Bogotá	B/anga	B/tura	Cali	C/gena	Cucuta	Florenc	Ibague	Maniz.	Med.	Mont	Neiva	Pasto	Pei	Popay	Quib	Rioha	Sinc.	Santa Marta	Tunja	V/dupar	Villavo	Arauca	Mocoa	Yopal
1	Armenia	0	1098	286	725	235	194	974	935	533	81	95	348	739	288	594	44	343	596	1289	789	1191	433	1154	599	907	636	422
2	B/quilla	1098	0	1302	739	1116	1212	124	926	1849	1179	1003	750	424	1386	1612	1054	1361	998	284	309	93	777	364	1418	1003	1524	1053
3	Bogota	286	1302	0	439	519	484	1178	649	547	205	299	552	943	302	884	330	633	800	1147	993	1139	147	868	116	632	618	342
4	B/manga	725	739	439	0	937	923	917	210	986	644	738	1543	1217	742	1323	769	1072	1791	708	1102	700	292	429	555	417	1043	479
5	B/ventura	235	1116	519	937	0	129	1154	1138	564	319	380	499	899	531	521	268	265	606	1459	966	1266	660	1048	632	1135	632	846
6	Cali	194	1212	484	923	129	0	1088	1133	521	279	275	462	933	486	400	224	149	710	1403	893	1305	631	1352	600	1092	487	802
7	Cartagena	974	124	1178	917	1154	1088	0	1050	1507	1055	879	626	300	1262	1488	930	1237	874	408	185	217	1554	488	1294	1082	1595	1128
8	Cucuta	935	926	649	210	1138	1133	1050	0	1179	854	984	1201	1350	951	1533	979	1282	1449	1024	1235	833	502	562	765	346	1170	483
9	Florencia	533	1849	547	986	564	521	1507	1179	0	452	628	881	1272	245	623	577	372	1129	1694	1322	1724	694	1415	663	800	136	534
10	Ibague	81	1179	205	644	319	279	1055	854	452	0	176	429	820	207	679	125	428	677	1370	870	1272	352	1073	321	824	552	534
11	Manizales	95	1003	299	738	380	275	879	984	628	176	0	253	644	383	675	51	424	501	1192	694	1096	446	1167	415	899	722	609
12	Medellin	348	750	552	1543	499	462	626	1201	881	429	253	0	391	636	942	304	611	248	941	441	843	699	1114	668	818	884	629
13	Monteria	739	424	943	1217	899	933	300	1350	1272	820	644	391	0	1027	1253	695	1002	639	708	115	517	1090	788	1059	1141	1319	940
14	Neiva	288	1386	302	742	531	486	1262	951	245	207	383	636	1027	0	466	332	215	884	1577	1077	1479	449	1170	418	916	327	627
15	Pasto	594	1612	884	1323	521	400	1488	1533	623	679	675	942	1253	466	0	624	251	1110	1803	1303	1705	1031	1752	1000	1347	103	1057
16	Pereira	44	1054	330	769	268	224	930	979	577	125	51	304	695	332	624	0	373	552	1245	745	1147	447	1198	446	943	671	653
17	Popayan	343	1361	633	1072	265	149	1237	1282	372	428	424	611	1002	215	251	373	0	859	1552	1052	1454	780	1501	749	1219	349	929
18	Quibdo	596	998	800	1791	606	710	874	1449	1129	677	501	248	639	884	1110	552	859	0	1189	689	1091	800	1362	916	1005	1026	816
19	Riohacha	1289	284	1147	708	1459	1403	408	1024	1694	1370	1192	941	708	1577	1803	1245	1552	1189	0	557	191	1000	279	1263	1125	1647	1175
20	Sincelejo	789	309	993	1102	966	893	185	1235	1322	870	694	441	115	1077	1303	745	1052	689	557	0	402	1140	673	1109	1025	1383	1075
21	Santa Marta	1191	93	1139	700	1266	1305	217	833	1724	1272	1096	843	517	1479	1705	1147	1454	1091	191	402	0	992	271	1255	965	1487	1015
22	Tunja	433	777	147	292	660	631	1554	502	694	352	446	699	1090	449	1031	447	780	800	1000	1140	992	0	721	263	479	766	219
23	V/dupar	1154	364	868	429	1048	1352	488	562	1415	1073	1167	1114	788	1170	1752	1198	1501	1362	279	673	271	721	0	984	871	1392	921
24	Villavo	599	1418	116	555	632	600	1294	765	663	321	415	668	1059	418	1000	446	749	916	1263	1109	1255	263	984	0	683	715	262
25	Arauca	907	1003	632	417	1135	1092	1082	346	800	824	899	818	1141	916	1347	943	1219	1005	1125	1025	965	479	871	683	0	1243	422
26	Mocoa	636	1524	618	1043	632	487	1595	1170	136	552	722	884	1319	327	103	671	349	1026	1647	1383	1487	766	1392	715	1243	0	954
27	Yopal	422	1053	342	479	846	802	1128	483	534	534	609	629	940	627	1057	653	929	816	1175	1075	1015	219	921	262	422	954	0

Fuente RNDc Ministerio Transporte

Tabla 15 Tabla de Fletes

DESTINO:	ARMENIA	B/QUILLA	BOGOTA	B/MANGA	B/VENTURA	CALI	C/GENA	CUCUTA	DUITAMA	IBAGUE	IPIALES	MANIZALES	MEDELLIN	NEIVA	PASTO	PEREIRA	POPAYAN	STA. MARTA	V/VICENCIO	YOPAL	TUMACO
ORIGEN:																					
Armenia		107.151	57.580	78.908	45.325	34.303	105.667	103.153	71.991	32.109	89.952	27.215	55.839	44.999	77.291	23.415	47.231	109.333	76.230	95.296	96.632
B/quilla	116.671		123.723	91.090	135.204	137.657	33.665	102.989	119.954	126.383	158.318	118.157	98.633	139.815	153.611	122.844	144.960	25.483	141.572	151.129	170.565
Bogotá	51.875	81.214		57.715	68.115	66.296	61.214	76.934	34.623	39.341	119.976	59.973	62.168	49.383	110.429	56.259	79.274	81.214	38.790	535.358	128.174
B/manga	80.491	70.868	71.005		106.987	100.983	79.580	41.560	67.649	72.069	149.448	80.933	66.121	50.469	140.174	79.377	117.326	68.690	89.979	98.008	153.208
B/ventura	49.039	139.537	91.513	109.532		39.000	136.658	134.066	100.778	67.329	90.866	55.899	86.133	66.278	81.204	52.314	51.913	139.559	101.956	118.839	106.479
Cali	35.074	118.850	73.897	101.422	39.000		118.850	125.363	69.257	53.919	71.267	47.232	67.474	67.577	61.962	39.341	35.273	125.441	90.544	107.604	104.100
C/gena	118.839	29.992	127.089	93.730	142.144	136.406		106.233	122.661	119.860	157.318	113.065	94.938	135.571	152.886	113.085	149.085	35.562	146.847	153.741	170.565
Cúcuta	99.395	79.159	85.031	43.276	120.466	118.850	85.640		84.324	90.459	157.319	97.003	99.801	99.201	143.697	98.735	127.146	76.934	101.240	113.680	157.570
Duitama	73.425	81.214	36.852	55.431	87.963	83.880	90.350	83.880		58.385	136.052	74.063	84.637	72.126	125.455	74.063	94.747	88.066	53.717	40.493	139.023
Ibague	42.207	101.755	40.861	71.977	55.917	50.725	99.201	93.639	58.750		99.212	50.099	65.449	35.399	97.351	45.623	74.611	99.074	53.093	77.621	124.120
Ipiiales	85.783	163.767	119.976	143.021	86.512	73.747	163.767	159.546	118.918	98.895		93.159	117.781	100.580	25.400	86.765	70.252	170.565	135.933	145.218	56.644
M/zales	36.398	97.559	70.952	82.143	50.345	45.913	95.343	100.670	78.931	50.247	98.570		46.346	74.364	88.123	36.398	62.375	100.765	76.288	98.558	106.479
Medellin	48.601	68028	65.042	71.296	54.097	58.357	66.598	98.374	75.690	65.449	102.666	47.557		75.508	101.273	47.778	65.800	68.730	83.122	111.257	117.326
Neiva	59.299	120.466	56.103	90.053	72.069	61.870	120.466	116.831	74.934	36.852	104.565	65.879	74.760		97.933	55.401	84.932	124.313	64.502	87.275	129.822
Pasto	75.917	150.097	108.343	127.641	76.726	65.975	153.208	143.697	113.409	93.842	24.756	96.002	104.100	97.906		80.995	52.375	159.717	121.933	137.381	50.651
Pereira	31.878	103.470	68.309	81.375	48.375	37.366	101.273	108.615	78.931	50.747	94.892	33.665	51.959	69.038	81.140		59.166	108.837	81.838	99.010	124.302
Sta. Marta	124.577	28.541	118.018	85.000	134.231	133.025	35.562	101.115	112.828	120.050	153.206	117.842	103.737	135.408	148.870	125.760	142.734		136.697	149.102	170.802
V/cencio	62.331	103.063	38.790	69.651	76.934	78.215	103.053	82.779	49.896	51.623	123.836	64.213	80.615	64.950	122.136	69.895	85.783	100.427		67.329	148.870

. Fuente: (Ministerio de Transporte, 2011)

Tabla 16 Tarifas de movilización de carga

Origen	Destino	Valor Min Ton	Valor Mercado Cat IV Cont 20''	Valor Mercado Cat V Cont 40''	Observaciones
Buenaventura	Cali	45.000	66.667	46.667	Resolución 034** del 10 de Agosto 2016, Precios Mercado a Septiembre 2016
Bogotá	Cali	65.000	88.889	63.333	
Manizales	Buenaventura	59.000	80.556	58.333	
Bogotá	Buenaventura	76.000	105.556	83.333	
Buenaventura	Bogotá	91.513	122.222	96.667	
Duitama	Buenaventura	90.000	127.778	96.667	
Manizales	Bogotá	74.000	88.889	60.000	
Buenaventura	Pitalito	123.000	138.889	126.667	
Bogotá	Ipiales	138.000	144.444	172.222	
Medellín	Buenaventura	74.000	94.444	80.000	
Pereira	Buenaventura	48.375	69.444	50.000	
Ibagué	Buenaventura	55.917	91.667	56.667	
Armenia	Bogotá	55.580	61.111	55.000	
	Cali		200.000	200.000	
Devoluciones contenedor a	Bogotá		300.000	300.000	
Buenaventura	Medellín		300.000	300.000	

Fuente: Elaboración propia con información de Resoluciones del Ministerio de Transporte (Ministerio de transporte, 2016).

La movilización de carga en Colombia requiere de plantear soluciones integrales que permitan garantizar la competitividad logística, el corredor Bogotá – Buenaventura plantea retos importantes, el hecho de ser el corredor que permite el tránsito de más del 50% de la carga contenedorizada asegura que cualquier alternativa que sea integral y que permita la interacción a manera de complementariedad entre los modos de transporte susceptibles de desarrollar en el corredor, propenderá por ese gran objetivo nacional, el cual es la competitividad en materia logística.

El volumen de carga y la infraestructura disponible en el corredor, demanda la voluntad política e institucional, la asignación de un responsable que propenda por el desarrollo del corredor, es una iniciativa importante y deja entrever las intenciones del estado en torno a garantizar un desarrollo logístico para el país.

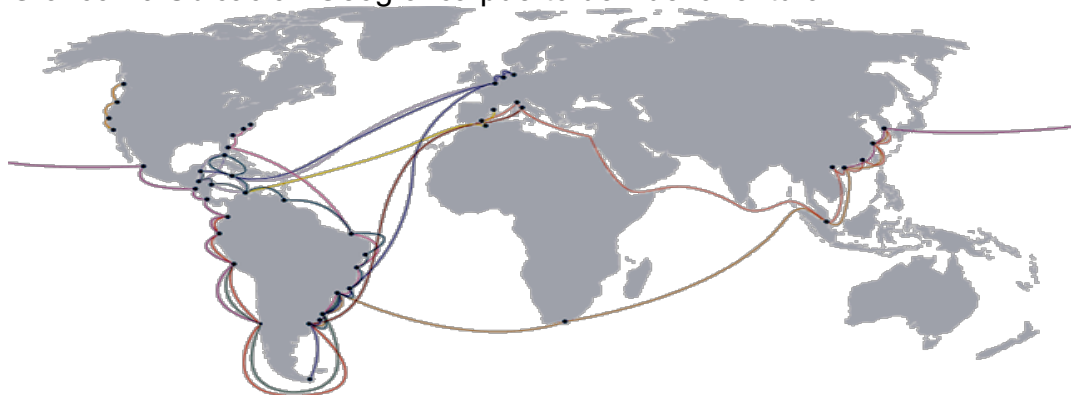
7 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD LOGÍSTICA DEL PUERTO DE BUENAVENTURA

El puerto de Buenaventura, considerado como el puerto más importante del país, se encuentra ubicado en el departamento del Valle del Cauca al occidente del país, limita con el departamento del Chocó; al oriente con los municipios de Calima, el Darién, Dagua, Santiago de Cali y Jamundí; al sur con el departamento del Cauca y al occidente con el Océano Pacífico. Este municipio se encuentra atravesado por 11 cuencas que desembocan en el océano pacífico (Franco. et. al, 2004).

La posición privilegiada del Puerto de Buenaventura en el pacífico colombiano (ver Gráfico 10), convierte a Buenaventura en el principal puerto marítimo del país y ser una de las arterias más importantes de la economía nacional, ya que a través de su territorio se encuentran construidas las dos vías más importantes que comunican al interior del país con el Pacífico; la vía carretable Cabal Pombo, y el Ferrocarril del Pacífico – Ferrocarril del Oeste, por donde se moviliza el 42% del comercio exterior colombiano, además de desplegarse dos tramos del poliducto de Ecopetrol en el Valle del Cauca (Franco. et. al, 2004).

El municipio de Buenaventura, se encuentra dentro de la Región del Chocó Bio geográfico a aproximadamente 7 m.s.n.m.; a tres horas de distancia de la ciudad de Santiago de Cali. Es el municipio de mayor extensión del departamento del Valle del Cauca, con un área de 6.297 Km², que equivale al 29,7% del área total del departamento, lo que hace de éste municipio un territorio difícil de controlar y vigila. (Jiménez Carvajal, Abelardo. et al, 2011).

Gráfico 10 Ubicación Geográfica puerto de Buenaventura



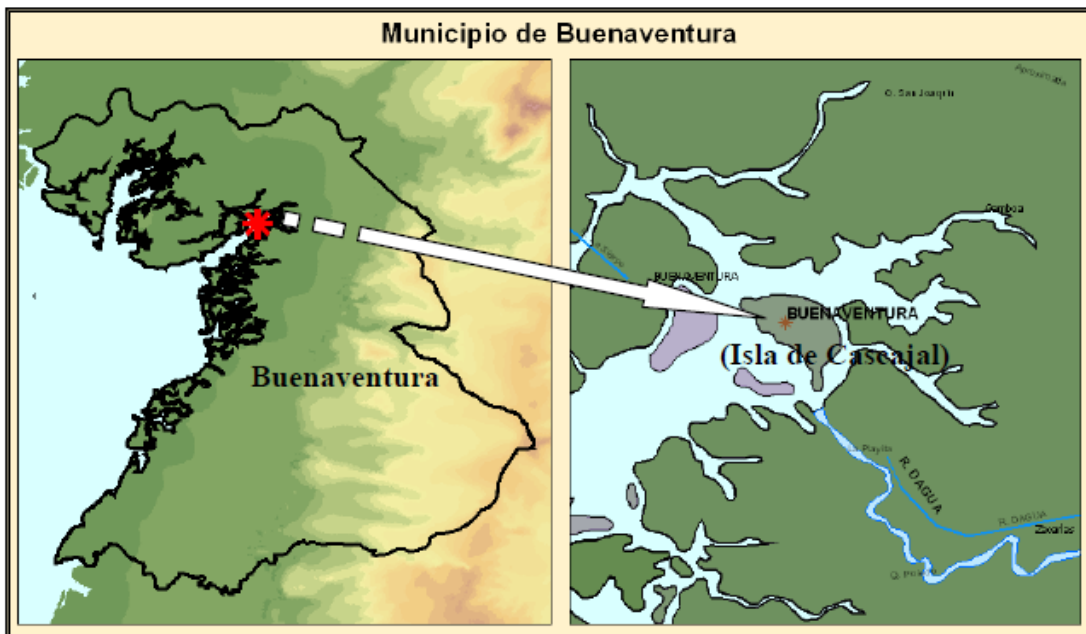
Fuente: (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

Buenaventura ofrece una ubicación estratégica, que use a Colombia con el mundo a través del océano Pacífico. Se encuentra cerca del canal de Panamá, y es uno de los puertos del continente americano más cercanos al Lejano Oriente, además está cerca de las principales rutas marítimas que atraviesan el planeta de norte a sur y de oriente a occidente. (ver Gráfico 11)

El Puerto se localiza a los 3° 53' de latitud norte y a los 77° 05' de longitud al oeste del meridiano de Greenwich.

El Municipio de Buenaventura y en particular el puerto, se constituye en el principal puerto colombiano en el Litoral Pacífico y el segundo comparado con el resto del país, lo que le confiere una posición geo estratégica importante. “La ciudad consta de una zona insular, isla Cascajal, (ver Gráfico 11) donde se concentra la mayoría de las actividades económicas y de servicios y otra continental, ésta última con una vocación residencial principalmente. La configuración del municipio se caracteriza por ser longitudinal con una concentración importante a lo largo de la vía principal, la avenida Simón Bolívar, que cuenta con una extensión aproximada de 13 km y comunica al municipio con el interior del país.¹

Gráfico 11 Localización geográfica de Buenaventura - Isla Cascajal



Fuente: (Pérez, Gerson Javier et. al, 2007) p.5.

El área de influencia (Hinterland) del puerto de puerto de Buenaventura y en particular de la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura, comprende las principales ciudades del país, Tabla 17

¹ POT 2008-2011 Municipio de Buenaventura. Resumen ejecutivo.

Tabla 17 Área de Influencia del Puerto de Buenaventura

Ciudades	Distancia del puerto (km)
Bogotá	504
Medellín	438
Cali	165
Pereira	266
Armenia	245
Manizales	311

Fuente. Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A.

7.1 ENTORNO GEOGRÁFICO

El municipio de Buenaventura y su entorno, es decir, las poblaciones de la costa pacífica, se caracterizan por que se encuentran separadas del interior del país por una cadena montañosa que corresponde con la cordillera occidental. Además de que sus tierras se encuentran en su mayoría por debajo de los 1000 m.s.n.m., con predominio del clima cálido, conocidas como la llanura del pacífico. (Pérez, Gerson Javier et. al, 2007)

7.1.1 Clima y recursos hídricos

Buenaventura se destaca por estar localizada a 7 m.s.n.m, con predominio de clima cálido y de mucha humedad. La mayor parte del territorio de Buenaventura se caracteriza por tener altas temperaturas y niveles altos de humedad, a pesar de comprender un territorio tan amplio, con cerca de 6788 km² y ser el municipio con mayor extensión del departamento. Otra característica importante en materia de clima, es la gran diferencia que existe entre las condiciones climáticas de Buenaventura con respecto no solo al promedio nacional sino al departamental. (Pérez, Gerson Javier et. al, 2007).

Las condiciones climáticas extremas en Buenaventura superan incluso a las del Chocó, en donde el porcentaje de territorio caracterizado por tener un clima cálido muy húmedo es del 55%. La diferencia se debe a que en el Chocó otra proporción importante del departamento, el 28,6% presenta clima cálido pluvial. (Pérez, Gerson Javier et. al, 2007).

Buenaventura, al presentar los más altos niveles de humedad y precipitación de todo el departamento, cerca de 6980 mm de precipitación anual, muy superior a los 3141 mm del segundo municipio con mayor precipitación del departamento, cuenta con importantes fuentes hídricas. (Pérez, Gerson Javier et. al, 2007) y según datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, se ha llegado a presentar precipitaciones de hasta 8000 mm promedio anual. (Gráfico 12)

Gráfico 12 Recursos hídricos del Municipio de Buenaventura



Fuente: (Pérez, Gerson Javier et. al, 2007), p12

Economía, turismo y población:

La economía del puerto de Buenaventura, gira en torno a la operación portuaria de comercio internacional de importación y exportación. Para el 2011, la zona portuaria de Buenaventura está conformada por 12 muelles, donde el sector privado cuenta con una participación del 83%, en tanto que el sector público, a través de la Alcaldía Municipal y el Ministerio de Transporte, el 17% restante (Jiménez Carvajal, Abelardo et. al, 2011), otra de las actividades propias de la economía bonaerense, proviene de la explotación maderera en el área del litoral Pacífico, desde Juradó en el Chocó, hasta Tumaco en Nariño, sin embargo, el impacto de ésta actividad en la economía es mínimo.

El turismo se ve privilegiado en Buenaventura, dada la gran variedad de recursos naturales y atractivos paisajísticos, donde el buceo, el turismo ecológico, la investigación científica, se convierten en los ejes principales de ésta actividad y en particular la zona rural en la Bocana, Juanchaco, Ladrilleros, Zabaletas y Córdoba, son los principales destinos. (Jiménez Carvajal, Abelardo et. al, 2011)

Según datos del plan de desarrollo Distrital de Buenaventura 2008-- 2011, las condiciones socioeconómicas de los habitantes del municipio son bastante críticas. El informe obtenido de la encuesta de hogares realizada para el año 2003, muestra que el 80.6% de la población se encuentra en situación de pobreza, el 43.5% en condiciones de indigencia, el desempleo presenta una tasa del 28.8% para el municipio, con un subempleo del 34,7% y donde el 63% de las personas ocupadas, ganan menos de un salario mínimo legal vigente. (Jiménez Carvajal, Abelardo et. al, 2011). El mismo informe presenta que el 35% de la población se

encuentra afiliada al régimen subsidiado de salud, el 24% al contributivo, el 4% al régimen de excepción, en tanto el 35% no cuenta con servicios de salud. El déficit habitacional es del 50%, 10395 hogares presentan déficit cuantitativo y 15857 carecen de servicios públicos o presentan otras carencias de tipo cualitativo. (Jiménez Carvajal, Abelardo et. al, 2011).

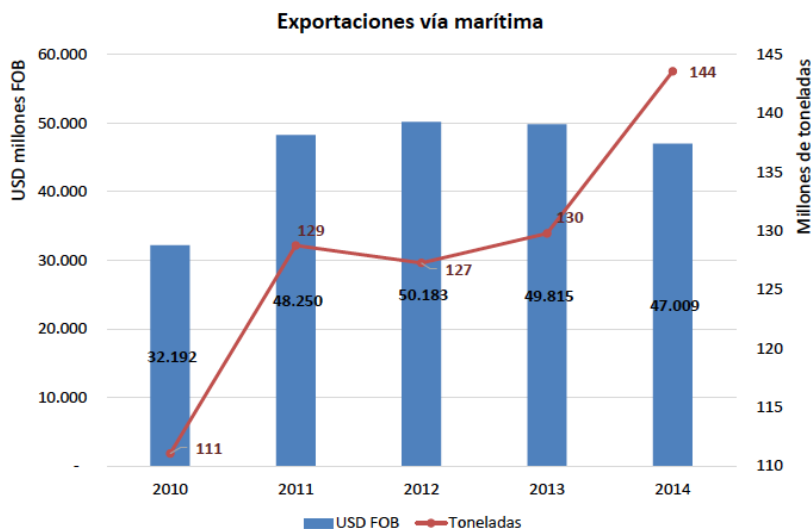
7.2 MOVIMIENTO DE CARGA – ESTADÍSTICAS

El grado de movilización de carga por parte de los puertos, hace posible determinar la importancia del mismo en el comercio de un país y su participación en el comercio internacional. Este mayor o menor grado de movilización de carga a través de los puertos, lo definen en gran medida algunos factores a saber: (CONPES 3315, 2004)

- La ubicación estratégica,
- La disponibilidad de equipos,
- Las condiciones naturales de proximidad a las rutas de comercio internacional y
- Un balance interno equilibrado de carga de salida y entrada al mismo.

El 80% o más del comercio internacional es realizado por vía marítima, esto debido principalmente a los bajos costos de transporte en grandes distancias, Para el caso colombiano, el 85% de la carga de comercio exterior se maneja por vía marítima, entre 2010 y 2014, el país ha movilizado en solo exportación por sus zonas portuarias (Gráfico 13), más de 640 millones de toneladas (PROCOLOMBIA, 2015).

Gráfico 13 Evolución tráfico portuario



Fuente: (PROCOLOMBIA, 2015)

Según CONPES 3315 de 2004, históricamente los movimientos más importantes en cuanto a volumen de movilización, han sido aquellos que se realizan por los puertos privados carboneros y de hidrocarburos de Guajira, Santa Marta y Golfo de Morrosquillo.

El servicio portuario, se presta de igual manera al sector productivo colombiano a través de los puertos públicos por cuatro de las cinco sociedades portuarias regionales SPR, que tienen en concesión los puertos de propiedad de la Nación, por dichos puertos. (CONPES 3315, 2004).

La economía colombiana en la última década ha venido presentando una evolución importante, aspecto que permitió pasar de un comportamiento recesivo en los 90 a tasas de crecimiento reales positivas a partir del año 2000. (CONPES 3611, 2009). De la misma forma, el comercio exterior de bienes medido como porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) ha presentado incrementos importantes, pasando del 24,2 % en 1997 de participación del PIB al 34,6% en 2007.

El informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo – UNCTAD, el PIB mundial creció en 3,8% en 2007, en tanto que las exportaciones mundiales crecieron un 5.5% con respecto a 2006. Latinoamérica, presentó un comportamiento superior, con un crecimiento promedio del PIB del 5,6% mientras que el comercio exterior lo hizo en promedio al 9,8%, para el caso colombiano, en el año 2007 el PIB presentó un crecimiento del 7,5% con respecto a 2006 y el comercio exterior creció en promedio el 12,9% (CONPES 3611, 2009).

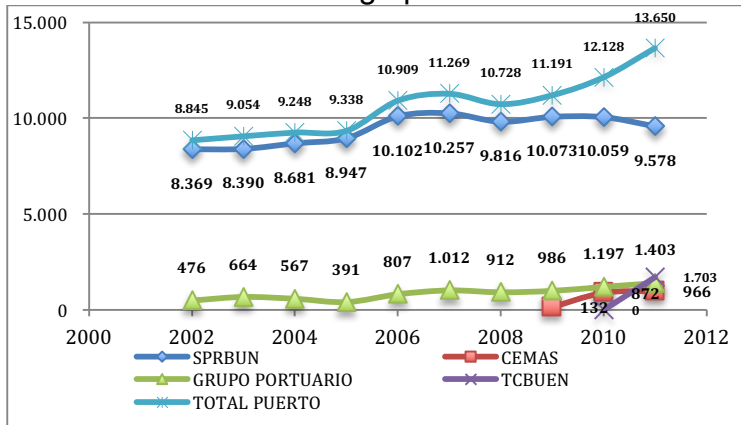
Tabla 18 Tráfico de carga por el puerto de Buenaventura 2002 - 2011

AÑO / TERMINAL	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
SPRBUN	8.369	8.390	8.681	8.947	10.102	10.257	9.816	10.073	10.059	9.578
CEMAS								132	872	966
GRUPO PORTUARIO	476	664	567	391	807	1.012	912	986	1.197	1.403
TCBUEN								0		1.703
TOTAL PUERTO	8.845	9.054	9.248	9.338	10.909	11.269	10.728	11.191	12.128	13.650

Fuente: (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

El tráfico de carga a través del puerto de Buenaventura ha venido presentando un crecimiento sostenido importante en la última década, como se aprecia en la Tabla 18, con una participación 94.62% de la sociedad portuaria regional de Buenaventura – SPRBUN frente al 5,38% del Grupo Portuario en el año 2001, el crecimiento entre 2001 y 2011 en el tráfico de carga en el puerto de Buenaventura fue del 54,32%, presentando el mayor crecimiento en tráfico de carga entre el año 2005 y 2006, cuando pasó de 9,338 millones de toneladas a 10, 909 millones, para un crecimiento del 16,82%. Entre el año 2010 y 2011, igualmente se presentó un crecimiento importante del 12,55% en el tráfico de carga, al pasar de 12,128 millones de toneladas en el 2010 a 13,650 millones en el 2011, esto debido a la entrada en vigencia de los nuevos tratados de comercio firmados por el país.

Gráfico 14 Tráfico de carga puerto de Buenaventura 2002 – 2011



Fuente (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

El Gráfico 14, permite apreciar la distribución de la movilización de la carga por el puerto de Buenaventura

7.2.1 Infraestructura Portuaria

En Colombia, la infraestructura de transporte se caracteriza por tener altos niveles de desarrollo, en especial en la última década, tanto a nivel portuario, como aeroportuario. La mayoría de los puertos marítimos y aéreos de Colombia eran, en su mayoría, de entidades públicas. A partir de 1991, después de la apertura económica del país, se introdujeron nuevas leyes que buscaron una mayor competitividad en el sector portuario. Fue así, que mediante Ley 1 de 1191 se elimina el monopolio estatal de los puertos colombianos, para dar origen a entidades portuarias como entes con autonomía administrativa y patrimonio propio (público, privado o mixto) con el objetivo de modernizar el sistema, reducir las tarifas y mejorar la eficiencia portuaria del país. Bajo este marco normativo, nace los operadores portuarios y las sociedades portuarias regionales, cuya función para los operadores es la de prestar servicios en la actividad portuaria como: cargue, descargue, almacenamiento, etc., en tanto las sociedades portuarias regionales tienen como objetivo principal, la administración de la estructura portuaria. (López, Ch. Liliana, Moscoso, Fabio F., 2005).

El transporte marítimo de Colombia se realiza a través de los puertos de Buenaventura y Tumaco, en el océano Pacífico, y los puertos de Cartagena, Barranquilla y Santa Marta, en el océano Atlántico. Los puertos se encuentran dotados con los medios necesarios para recibir embarcaciones de cualquier tipo y calado; no obstante, se han especializado. El puerto de Cartagena se especializa en el movimiento de contenedores, para lo cual requiere algunas labores de dragado y mantenimiento; el puerto de Santa Marta es natural, profundo, con vocación granelera y un alto grado de movilización de carbón, la dificultad más notoria de éste último está relacionada con la cercanía a la ciudad y a la pendiente de sus terrenos. El puerto de Barranquilla, es un puerto multipropósito, requiere de labores de dragado de manera permanente debido a la sedimentación

ocasionada por el Río Magdalena, la versatilidad de éste puerto, se da debido a que es un punto estratégico de intercambio modal entre el transporte fluvial y el transporte marítimo. (López, Ch. Liliana, Moscoso, Fabio F., 2005)

A diez años de iniciada la administración del mas importante puerto de Colombia, la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. SPRBUN, se encontraba lista y dispuesta para afrontar las nuevas oportunidades que se abrían al comercio internacional al en concordancia con los nuevos acuerdos de integración comercial como los TLC, para ello se dio a la terea de sintonizar su presencia en el contexto del comercio exterior. (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

Para ello, la SPRBUN desarrolló un modelo de Terminales Especializadas que trajeron una mejora sustancial en los rendimientos operacionales en el puerto y una mayor competitividad de Colombia por la costa pacífica. (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

La actividad portuaria liderada por la SPRBUN genera empleo para más de 2,300 familias en Buenaventura a través de la contratación de talento humano para el desarrollo de las operaciones derivadas del modelo de Terminales Especializadas. (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura SPRBUN S.A

La Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura entrega a los buques que arriban al Terminal Marítimo de Buenaventura los siguientes servicios: (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

- Pilotaje.
- Remolcadores.
- Suministros de agua, combustibles, lubricantes y avituallamiento. Muellaje.
- Servicio a las naves: reparación de sistemas mecánicos, eléctricos, hidráulicos y de refrigeración.
- Cargue y descargue de motonaves. Servicios médicos, odontológicos y migratorios a la tripulación de los buques.
- Servicios de almacenamiento a la línea naviera almacenaje LCL. Monitoreo y control de contenedores de transbordo.
- Transbordo. Consolidación y des consolidación de contenedores LCL.
- Tratamiento de desechos sólidos y líquidos.
- Uso de grúas.

Para llevar a cabo estos servicios, la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., cuenta con una infraestructura portuaria competitiva que se sustenta en:

Dragado: Se cuenta con un calado de 13,2 metros en pleamar, permitiendo con ello el arribo de embarcaciones de 45000 toneladas. (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

Puertos de atraque: Para que los muelles pudiesen soportar los grandes volúmenes de carga y la presión que los barcos ejerciesen sobre los puertos de atraque, así como la operación de las grúas que se utilizan para el cargue y descargue de los contenedores de los buques, se llevó a cabo labores de refuerzo de las estructuras a fin de atender dichas embarcaciones, haciendo con ello del Puerto de Buenaventura el principal Terminal Marítimo Colombiano, el único Puerto polivalente de Colombia, con una pantalla (línea de atraque) de 2000 metros de longitud, con terminales especializadas de contenedores, gráneles sólidos, gráneles líquidos y multipropósito. (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

Sectores de Almacenamiento: El puerto de Buenaventura con el concesionario SPRBUN, cuenta con más de 2000000 m² en patios, bodegas, cobertizos, silos y tanques para la más variada nomenclatura de mercancías. Por la disponibilidad de terrenos, igualmente el Puerto de Buenaventura presenta las mejores posibilidades de expansión portuaria en todo el pacífico latinoamericano.

Sistema de información portuaria: La Sprbun cuenta con el sistema de información COSMOS, plataforma de información portuaria que registra todas las operaciones en tiempo real vía registro internet, sistema utilizado en puertos europeos y con el cual actualmente se interconecta con la DIAN, sociedades de intermediación aduanera, empresas de transporte, navieras y operadoras cafeteras.

Líneas navieras: Al puerto de Buenaventura llegan las más importantes líneas navieras tienen conexiones con más de 100 principales puertos del mundo, ofreciendo variadas opciones de rutas y destinos a los exportadores e importadores.

Seguridad: En materia de seguridad, la SPRBUN ha invertido en un sistema integrado de seguridad electrónica, el cual cuenta con circuito cerrado de televisión que consta de 231 cámaras, un sistema de control perimetral a lo largo del Terminal Marítimo, control de acceso servicio de control portuario que permite hacer seguimiento detallado a las actividades portuarias que se desarrollen durante la permanencia de la mercancía en el puerto, para ello se puede contar con un completo registro fílmico documental y fotográfico. Además, el puerto cuenta con la certificación del código ISPS para el aumento de flujos futuros.

Esquema de seguridad portuaria SPRBUN (ver Gráfico 15)

- Circuito cerrado de televisión
- Control de acceso
- Control perimetral.

Seguridad Física:

- Empresa de vigilancia contratada

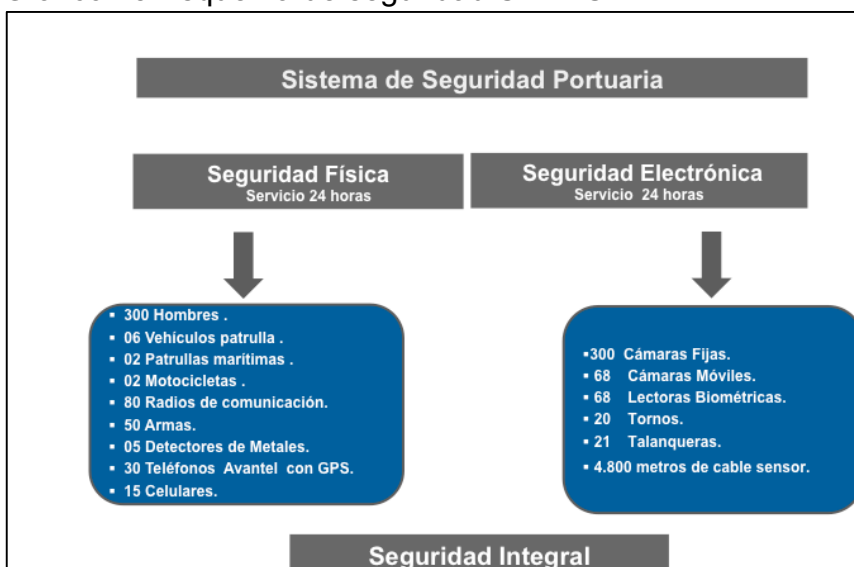
Procesos y Procedimientos

Sistema Cosmos

Unificación Operador Especializado

Talento Humano: Se cuenta con un talento humano conocedor de la actividad portuaria, que labora para generar valor agregado a la mercancía y satisfacer las necesidades crecientes de los usuarios, a los cuales se les brinda permanente capacitación para mantenerlos actualizados en las tecnologías de frontera, fomentando la vocación portuaria. La comunidad portuaria de Buenaventura cuenta con gran experiencia en la actividad, con equipos modernos y especializados.

Gráfico 15 Esquema de seguridad SPRBUN



Fuente. (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

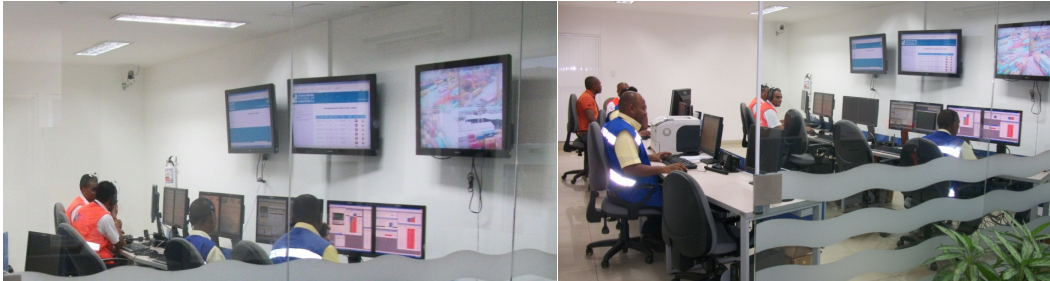
Centro de monitoreo para control de la operación portuaria de contenedores:

Como requisito indispensable para mejorar la competitividad del Terminal Marítimo y fortalecer la seguridad del puerto, se habilitó el Centro de Monitoreo para el control de las operaciones portuarias, el cual cuenta con una moderna y completa infraestructura tecnológica que permite planificar y centralizar el control de los procesos portuarios para las operaciones de cargue, descargue y cualquier movilización de los contenedores en tiempo real y estar acorde con los mejores estándares internacionales de operación portuaria, (ver Gráfico 16).

Terminal multipropósito: Constituido por cuatro puestos de atraque, con una longitud de 330 mts. Se encuentra equipado con tres grúas móviles multipropósito con capacidad para manipular hasta 104 toneladas.

Actualmente cuenta con una capacidad de almacenaje en bodegas 27.044 M2, bodega para el almacenamiento de café 8.682 M2, bodegas para el almacenamiento de Azúcar 20.835 M2. (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012).

Gráfico 16 Centro de monitoreo de contenedores

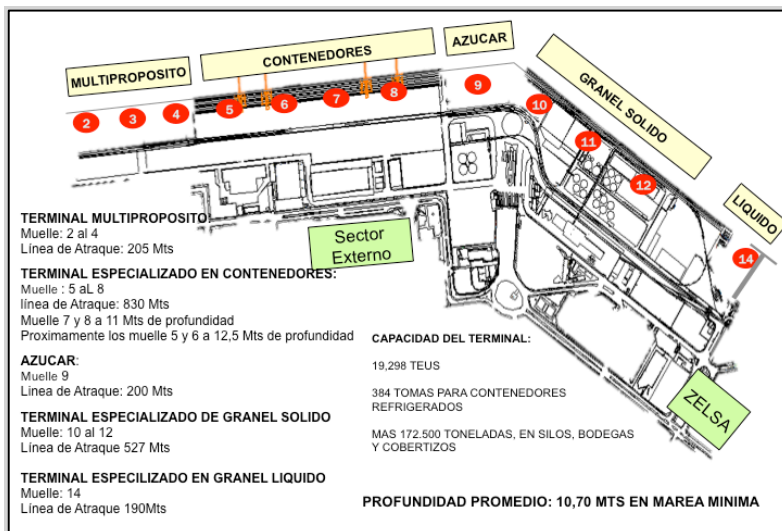


Fuente: (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

Distribución del terminal Sociedad Portuaria Buenaventura

El terminal marítimo de Buenaventura, se encuentra distribuido como se aprecia en el Gráfico 17. (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

Gráfico 17 Distribución del terminal marítimo de Buenaventura



Fuente: (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

Terminal especializado de contenedores:

Constituido por 4 puestos de atraque en una longitud de 720 mts. y se encuentra equipado con:

- 2 grúas pórtico Post-Panamax ZPMC: Capacidad bajo Spreader 40.6 Toneladas. Eficiencia: 28 contenedores/hora.

- 2 grúas pórtico Post-Panamax NOELL: Bajo Spreader 41.6 Toneladas. Con Twin Lift 50.0 Toneladas. Eficiencia: 32 contenedores/hora.
- 1 grúa móvil GOTTWALD: Capacidad máxima para 100 toneladas. Eficiencia: 18 contenedores/hora.
- 2 grúas móviles LIEBHERR: Capacidad máxima para 104 toneladas. Eficiencia: 20 contenedores/hora.
- 16 grúas pórtico de patio sobre neumáticos RTG– (KALMAR SISU – NOELL) (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

Terminal especializado de gráneles sólidos: Constituido por 3 puestos de atraque, con una longitud de 527 mts. Cuenta con equipos mecánico y neumáticos para la descarga de gráneles. Equipado con descargadores de gráneles mecánicos y neumáticos: (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

- SIWERTEL: 700 Ton/Hora
- VIGAN: 300 Ton/Hora
- BUHLER: 300 Ton/Hora
- MIAG: 220 Ton/Hora

Actualmente cuenta con una capacidad de almacenamiento para más de 172.500 toneladas, en silos, bodegas y cobertizos.

Nuevos equipos para la operación: Adicional para la operación de gráneles sólidos, la SPRBUN, cuenta con el siguiente equipo: (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

CUCHARA ELECTROHIDRÁULICA DE 35 M3

- Capacidad de la cuchara..... 35 m3
- Densidad de material granel..... 0,8 ton/m3
- Máxima capacidad de carga..... 28 ton/mov
- Rendimiento promedio 450 ton/hr
- Dimensiones de la cuchara:
 - Abierta...Ancho 5,6 mts x largo 4,72 mts
 - Cerrada...Ancho 4,44 mts x Largo 4,72 mts

TOLVA DE DOBLE COMPUERTA DE 70 M3

Terminal especializado de gráneles líquidos: Equipado con 14 líneas independientes y segregadas para el bombeo simultáneo, con un moderno sistema contra incendio y una eficiente grúa para la manipulación de todo tipo de ductos. (Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., 2012)

Capacidad de Almacenaje Total de más de 230.000 metros cúbicos

Grupo Portuario

Fundado en 1996, hace parte de la Sociedad portuaria colombiana privada de uso público, administra el muelle 13 de la Armada Nacional en el terminal marítimo de Buenaventura siendo uno de los puertos más importantes sobre el pacífico suramericano. (Grupo Portuario S.A., 2012)

El Grupo Portuario S.A, es una terminal de carga que oficia como Sociedad Portuaria privada que presta servicios para el uso público, es una sociedad de carácter anónimo que tiene como objetivo la administración del Muelle 13 del Terminal Marítimo de Buenaventura. (Grupo Portuario S.A., 2012)

Oficia como un muelle multipropósito, condición que le permite atender las diversas actividades de la operación portuaria, tales como gráneles sólidos, carga granel, carbón, minerales, carga suelta, automóviles y contenedores. (Grupo Portuario S.A., 2012)

Ubicado en el puerto de Buenaventura, el Grupo Portuario S.A., se encuentra localizado cerca del canal de Panamá, equidistante entre las Américas del Norte y Sur. (Grupo Portuario S.A., 2012)

Cuenta con un canal de acceso que presenta una longitud de 33,6 km, el cual se encuentra señalizado en su totalidad, con una profundidad de 12,5 mt, que depende en gran medida del comportamiento de la marea, la zona de maniobras es amplia y la zona de fondeo con una profundidad variable entre los 12 y 14 mts. Las oficinas principales se encuentran localizadas en la ciudad de Bogotá, desde donde se administra y coordina la logística para la prestación del servicio con calidad. (Grupo Portuario S.A., 2012)

Infraestructura, el Grupo Portuario S.A., cuenta con una zona de aproximación o Approach de 180 mt de línea de muelle, más 20 mt adicionales por concesión, para un total de 10435 mt². Cuenta igualmente con una zona de operaciones que permite conectar con los cerca de 42861 mt² de la zona portuaria. El terminal tiene definida una zona adecuada para el acopio de carga a granel y contenedores de 7592 mt², un área de 5503 mt², destinada para cobertizos, en el que se almacena las cargas generales, minerales y contenedores. Cuenta además con un lote de 10847 mt², donde se encuentran las bodegas de almacenamiento de granel sólido y un área de oficinas equipadas para los clientes y administración además de las oficinas de circuito cerrado de televisión. (Grupo Portuario S.A., 2012)

Servicios: Grupo Portuario S.A. en su patio de contenedores y multipropósito realiza operaciones con sus empresas asociadas BGP Containers and Logistics S.A. e Inatlantic S.A., donde presta el servicio como: (Grupo Portuario S.A., 2012)

- Almacenamiento de contenedores llenos o vacíos.
- Movilizaciones y Distribución de Mercancías.

- Transporte de contenedores llenos o vacíos.
- Reparación de contenedores.
- Control e inspección de contenedores.
- Plataformas logísticas para todo tipo de carga.

Adicionalmente la infraestructura de sus patios permite ofrecer un servicio integral a los contenedores refrigerados y Gensets entre los que se encuentran la inspección, asistencia técnica, Pre-Trip Inspection. (Grupo Portuario S.A., 2012)

Terminal Cemas Buenaventura

El 19 de julio de 2009, comenzó a operar en Buenaventura Muelles El Bosque Operadores Portuarios S.A. la cual se encuentra situada en la avenida portuaria frente al Muelle trece, en el terminal marítimo de la Sociedad Portuaria de Cementeras Asociadas S.A. – Cemas S.A. localizado en la Isla de Cascajal en el Municipio de Buenaventura. (Terminales Marítimos Muelles El Bosque S.A., 2009)

Cemas S.A. nace en Buenaventura en 1993 y el 22 de Octubre de 1999 se le otorga la concesión No. 024 por parte de la Superintendencia General de Puertos, la cual tiene vigencia hasta el 2021. En enero de 2006 se inició el proceso de construcción del muelle el cual comienza operaciones el 29 de agosto 2009 con el arribo de la motonave Seagate. (Terminales Marítimos Muelles El Bosque S.A., 2009)

Muelle Cemas ofrece una infraestructura diseñada para el descargue, almacenamiento y despacho de gráneles sólidos y tortas. Cuenta con una capacidad de almacenamiento estática de 47.200 toneladas en sus silos y bodegas, así como cuatro puntos de despacho, dos de 200 ton/h cada uno y dos de 150 ton/h cada uno. (Terminales Marítimos Muelles El Bosque S.A., 2009).

Localización: Puerto Cemas está ubicado en Buenaventura, el municipio con mayor extensión del Valle del Cauca, localizado a una distancia de 115Km de Cali. Por Buenaventura se mueve más del 60% del comercio del país, lo que lo convierte en el puerto marítimo más importante de Colombia y una excelente alternativa para el transporte de mercancías desde y hacia Colombia. (Terminales Marítimos Muelles El Bosque S.A., 2009).

Infraestructura Muelle CEMAS: Muelle en Cemas cuenta con una longitud de atraque de 120 metros (de muelle) y 10.5 metros de calado con marea cero, cuenta con una capacidad de almacenamiento de 48.000 toneladas con cuatro puntos de despacho, con capacidad para descargar 900 toneladas/ hora y despachar 750 toneladas/ hora. (Terminales Marítimos Muelles El Bosque S.A., 2009).

- **Infraestructura para recibo y almacenamiento**

Bodegas

- 4 Piscinas de 5.000 toneladas cada una para un total de 20.000 toneladas.
- Velocidad de recibo: 1 Línea con bascula de paso de 300 ton/hora, para productos de densidades entre 620 y 750 kg/m³.
- Rata total de recibo a bodegas: 300 ton/hora

Silos

- 4 Silos con capacidad de 6.800 toneladas cada uno para un total de 27.200 toneladas.
- Velocidad de recibo: 2 Líneas con basculas de paso de 300 ton/hora, para productos con densidades entre 620 y 750 kg/m³.
- Rata total de recibo a Silos: 600 ton/hora.

Recibo Directo

- Puntos para recibo directo a camiones.
- Líneas de 200 ton/hora cada una, para productos de densidades entre 620 y 750 kg/m³.
- Rata total de Recibo Directo: 600 ton/hora.

Posición de Atraque

- 120 mts de muelle.
- 10 mts de calado con marea cero.

- **Infraestructura para despacho**

Bodegas

- Estaciones con basculas de paso de 150 ton/hora cada una, para productos con densidades entre 620 y 750 kg/m³.
- Rata total de despacho de Bodegas: 300 ton/hora.

Silos

- 2 Estaciones con basculas de 200 ton/hora para productos con densidades entre 620 y 750 kg/m³.
- Rata total de despacho de Silos: 400 ton/hora.

Básculas camioneras

- Basculas de piso con una capacidad de 80 Toneladas

Equipos y tecnología CEMAS

Muelles El Bosque, O.P. Muelle en Cemas Buenaventura cuenta con una gama alta de tecnología de automatización en la operación de los equipos que transportan los productos de nuestros clientes, a los lugares especializados de almacenaje y/o a los vehículos que se despachan diariamente por nuestras instalaciones. (Terminales Marítimos Muelles El Bosque S.A., 2009)

Un PLC es el encargado de ejecutar las programaciones de cargue/descargue y monitorear cada equipo en movimiento, a través de los cuales pasan los productos

de nuestros clientes, supervisado por un operador del cuarto de control. El cuarto de control es una instalación con la tecnología adecuada para permitirle a un operador, interactuar con todos los equipos, por medio de estaciones con un software de interfaz humano-maquina (HMI). De esta manera el operador puede seleccionar rutas, controlar compuertas, monitorear alarmas, llevar registros, encender y apagar líneas, (Terminales Marítimos Muelles El Bosque S.A., 2009)

Otros equipos para la Operación

- Tolvas móviles de 45 metros cúbicos.
- Cucharas hidráulicas de 12 metros cúbicos.
- 1 Cargador de cuchara frontal Caterpillar 930H.
- 1 Mini cargador Caterpillar 246C.
- 1 Elevador Hyster de 2.5 Ton.
- 1 Elevador Hyster de 13.6 Ton.

Terminal de contenedores de Buenaventura – TCBUEN

TCBUEN S.A. es una de las 13 terminales marítimas en las que el Grupo Marítima TCB participa como inversionista y gestor. Este grupo es el primer operador marítimo español de terminales portuarias que opera en Colombia al igual que el Grupo GEPSA, importante inversionista y promotor de este terminal. TCBUEN es una nueva alternativa para el movimiento de carga de exportación e importación que permitirá a los clientes del comercio exterior colombiano optimizar sus procesos obteniendo sinergias considerables en cuanto a la operatividad, ya que cuenta con un amplio abanico de servicios que lo hacen muy competitivo para las líneas marítimas y para importadores y exportadores. (Terminal de Contenedores de Buenaventura, 2011)

TCBUEN ha creado fuertes vínculos con las cuatro de las líneas navieras más competitivas del mercado internacional: MAERSK, HAMBURG SUD, CCNI y CSAV; trabaja de cerca con las autoridades competentes ICA, INVIMA, DIAN y policía Antinarcoóticos para brindar una operación exitosa en el manejo de la carga. (Terminal de Contenedores de Buenaventura, 2011)

La nueva infraestructura portuaria le permite a TCBUEN competir en el ámbito internacional con la adquisición de equipos portuarios de última generación, un novedoso sistema de información y comunicaciones a través de su plataforma informática que le permiten ofrecer a sus clientes información en tiempo real. Los usuarios pueden consultar en línea la información de sus operaciones conociendo el estado y condición de su carga en la página web www.tcbuen.com. (Terminal de Contenedores de Buenaventura, 2011)

Desde las oficinas de servicio al cliente, TCBUEN ofrece una asistencia eficiente para que los usuarios se mantengan informados de la trazabilidad de su carga durante los 365 días al año. (Terminal de Contenedores de Buenaventura, 2011).

Localización: TCBUEN, se encuentra localizado en Buenaventura en el estero el Aguacate, después de la Isla Cascajal, y se encuentra directamente conectado a la vía principal que conecta Buenaventura con las principales ciudades de la nación. La terminal marítima está aproximadamente 3 km al noroeste del centro de Buenaventura. (Terminal de Contenedores de Buenaventura, 2011)

Infraestructura y equipamiento: cuenta con un muelle de desembarque de 440 metros de longitud, que permite el atraque de dos grandes buques de forma simultánea, o un buque tipo de Panamá. TCBUEN, cuenta con una profundidad de 14 metros de calado medido en marea mínima, con una capacidad para almacenar hasta 8.000 TEUS al mismo tiempo y para atender 260.000 TEUS por año, lo que significa que TCBUEN puede operar el 30% del mercado de contenedores de Buenaventura. (Terminal de Contenedores de Buenaventura, 2011)

Equipo Portuario (Terminal de contenedores de Buenaventura - TCBUEN, 2016)

- 4 Grúas pórtico de muelle Súper – Post Panamax (3 hasta 19 y 1 hasta 23 contenedores de manga)
- 1 Grúa Móvil STS
- 13 Grúas de patio RTG eléctricas – diésel
- 24 TTs Terminal Tractors
- 5 Reachstackers
- 4 ECH Empty Container Handlers
- 3 Bodegas para realizar operaciones logísticas. (Café, Carga Suelta y Azúcar)
- 2 Bodegas de Inspección de carga.
- 28 Elevadores de 6.000 y 15.000 Lb
- 280 Tomas para contenedores refrigerados.
- 26 Hectáreas para el almacenamiento de los contenedores.

Sociedad Puerto Industrial Aguadulce

Terminal multipropósito localizado en el puerto de Buenaventura, ubicado en la zona de Aguadulce en Buenaventura, estratégicamente ubicado en la península de Aguadulce, brindando con ello una posición privilegiada en el canal de acceso marítimo.

Se desarrolló con la última tecnología disponible, consolidándose como el puerto más moderno en Colombia. Cuenta con sistemas operativos de vanguardia, instalaciones adecuadas y de calidad, con procesos optimizados para llevar a cabo el manejo de carga en procura de generar ventajas competitivas a importadores y exportadores. (Sociedad Puerto Industrial de Aguadulce, 2016). El puerto de Aguadulce, hace parte de las casas matrices Filipinas International Container Terminal Services Inc. (ICTIS) y PSA International de Singapur. Cuenta

con un respaldo de más de 70 años representados en la trayectoria de las mismas en el mundo. (Sociedad Puerto Industrial de Aguadulce, 2016)

Ubicado en terreno de 128 hectáreas de terminal y 140 hectáreas adicionales para desarrollos logísticos, con una vía de acceso exclusiva de 20,7 Km que evita la entrada congestionada de la zona urbana de Buenaventura y que comunica directamente con Cali y el interior del país. (Sociedad Puerto Industrial de Aguadulce, 2016)

Instalaciones

El puerto de Aguadulce, cuenta con una infraestructura compuesta por un Área total de 11,4 hectáreas, una línea de atraque de 250 m de longitud. Capacidad operativa de 2,5 millones de toneladas anuales. El puerto de Aguadulce se encuentra dotado con el siguiente equipo portuario. (Sociedad Puerto Industrial de Aguadulce, 2016)

- 4 Grúas súper post panamax
- 3 Equipos para manipulación de contenedores llenos
- 3 Equipos para manipulación de contenedores exclusivamente vacíos
- 10 Grúas RTG
- 32 Tractores de terminal
- 34 remolques de terminal

Puerto Solo

Puerto Solo, es el nuevo desarrollo portuario que tendrá asiento en la Bahía de Buenaventura, será un puerto de uso público con un área concedida de 150 hectáreas sobre las cuales se aspira construir el nuevo complejo portuario. (Puerto Solo , 2016)

Tendrá terminales para distintos Usos Energéticos y una Terminal de Contenedores: (Puerto Solo , 2016)

- Terminal de Hidrocarburos Líquidos (Hidrocarburos y Etanol)
- Terminal de GLP (Propano y Butano)
- Terminal de GNL
- Terminal de Generación de Energía Eléctrica – Térmica a Gas
- Terminal de Contenedores, Vehículos y Carga General

Constituyéndolo en un Complejo Portuario Energético y Multipropósito.

Contará con las siguientes instalaciones (Puerto Solo , 2016):

- Terminal de Contenedores, Vehículos y Carga General
- Terminal de Hidrocarburos

- Terminal de Almacenamiento y Separado de GLP
- Terminal de GLN
- Central Termoeléctrica

7.3 CONCLUSIONES SOBRE LA CAPACIDAD LOGÍSTICA DEL PUERTO DE BUENAVENTURA.

El puerto de Buenaventura en términos generales ha venido consolidando una capacidad instalada que responde de manera oportuna a los requerimientos que el mercado internacional está exigiendo, igualmente, ha venido en un proceso paulatino de incorporación de las tecnologías de la información y comunicación, propendiendo el incremento de la eficiencia tanto en las operaciones portuarias, como en la trazabilidad, seguimiento y seguridad de las mercancías que pasa por el puerto.

La puesta en operación del puerto de Aguadulce, además de incrementar la capacidad de almacenamiento y operaciones en el puerto, abrió una nueva ruta de acceso a los muelles, descongestionando los ingresos tradicionales con que cuenta el puerto.

Cabe destacar, que hoy el puerto de Buenaventura está en capacidad de permitir el ingreso de buques de gran calado, para ello, se viene trabajando en garantizar que el canal de acceso cuente con la profundidad apropiada para dichos buques.

Por otro lado, la vía hacia el puerto de Buenaventura se encuentra en un estado de avance importante, en el tramo Buga – Loboguerrero tiene un avance superior al 70% (Gómez E., 2016).

8 EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS Y ESCENARIOS DE REDES DE TRANSPORTE MULTIMODAL DE CONTENEDORES

El transporte de carga, es un componente clave en la cadena de abastecimiento en la medida que asegura el movimiento eficiente y oportuno de las materias primas y los productos terminados.

Una cadena de abastecimiento está compuesta típicamente por tres segmentos, pre-haul (o primera milla para el proceso de recogida), de larga distancia (tránsito de puerta a puerta de los contenedores), y al final de recorrido (o última milla para el proceso de entrega).

El objeto de esta investigación está enfocado en el tránsito de larga distancia de la cadena de abastecimiento, y es en este segmento que la investigación de operaciones se ha enfocado principalmente en el transporte unimodal de mercancías. La concepción del transporte de carga considerando dos o más modos de transporte, emerge como un nuevo campo de aplicación investigación y por tanto requiere de una modelación diferente a la que se utiliza para sistemas unimodales de transporte (Macharis & Bontekoning, Opportunities for OR in intermodal freight transport: A review., 2004). Se hace preciso aclarar, que el concepto que realmente se pretende abordar de acuerdo con la literatura, es el de una red de transporte intermodal de mercancías contenedorizada², utilizando el mismo contenedor en forma sucesiva en varios modos de transporte, sin ninguna manipulación durante la transferencia entre los diferentes modos utilizados, según la Conferencia Europea de Ministerios de Transporte de 1993; el término multimodal, hace referencia al tipo de contratación mediante la utilización de dos o más modos de transporte.

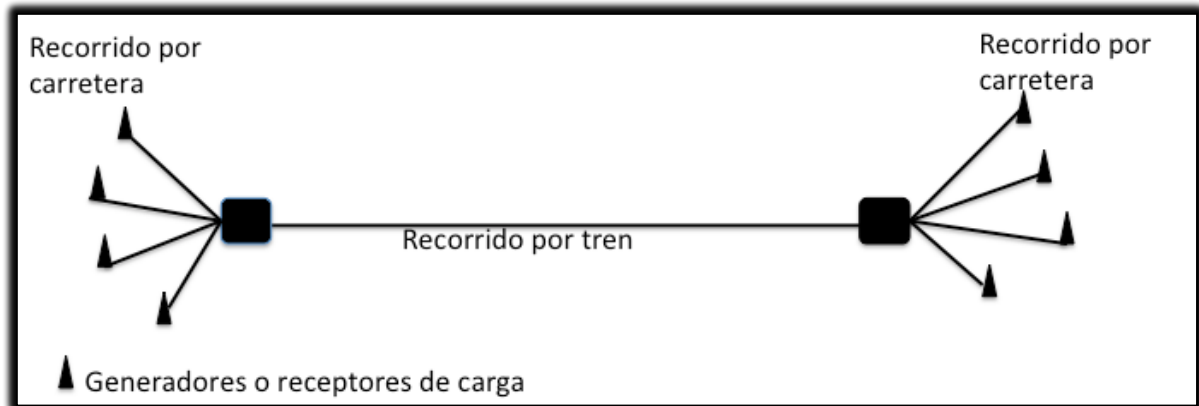
El Gráfico 18, es una representación de una red de transporte intermodal, donde se muestra que: una carga necesita ser transportada desde el generador de carga, hasta el receptor de la misma, para ello se transporta desde el generador hasta una terminal de intercambio modal mediante vehículos (camiones) que realizan los recorridos cortos, seguidamente se transfiere a otro modo de transporte (tren), el cual realiza el recorrido largo hasta otra terminal, donde de nuevo se transfiere a camiones para llevar a su destino final la mercancía.

En la configuración de una red de transporte intermodal, (Macharis & Bontekoning, Opportunities for OR in intermodal freight transport: A review., 2004) identifican cuatro (4) actores u operadores principales en función de las actividades que se desarrolla, a saber:

Operadores de acarreo: tienen a cargo la planeación y programación de los vehículos que transportan la carga desde el generador a los terminales de intercambio modal y desde el terminal hasta los receptores de la carga.

² El término multimodal, hace referencia al tipo de contratación mediante la utilización de dos o más modos de transporte

Gráfico 18 Representación típica de una red de transporte intermodal



Fuente: (Macharis & Bontekoning, Opportunities for OR in intermodal freight transport: A review., 2004)

Operadores del terminal tienen a cargo las operaciones de intercambio de modo de transporte, bien sea de modo carretable a tren o viceversa, de tren a barco o de barco a barco.

Operadores de la red quienes se encargan de planificar y organizar la infraestructura asociada al transporte terrestre (tren o camiones), o de transporte por barco.

Operador intermodal son considerados como los usuarios de la infraestructura intermodal y sus servicios, tienen a cargo la selección de la ruta para el despacho a través de la red de transporte intermodal.

Para el caso objeto de estudio, este último operador no es tenido en cuenta, dado que sólo se está analizando el corredor Bogotá – Buenaventura, no se están considerando otras alternativas que den a la selección acerca de la infraestructura a ser utilizada.

8.1 ESCENARIOS O TIPOLOGÍAS DE REDES DE TRANSPORTE INTERMODAL

Abordar la red de transporte intermodal de contenedores bajo esta perspectiva, conlleva a la generación de decisiones de carácter estratégico, táctico y operativo según (Macharis & Bontekoning, Opportunities for OR in intermodal freight transport: A review., 2004); para el operador de la red, implica modelar la determinación de la cantidad de terminales de intercambio modal, la localización de las mismas, además de la configuración de la infraestructura de la red, es decir, que las terminales se localicen en lugares donde exista la confluencia de los modos de transporte a considerar en la red.

Las decisiones de los operadores del acarreo, estarán enfocadas a la minimización de los costos de acarreo, la determinación de la distancia máxima

entre la generación de carga y la terminal de intercambio modal, al igual que la distancia entre la terminal y los receptores de la carga.

Por último, el operador de la terminal de intercambio modal, deberá abordar decisiones acerca de la capacidad e infraestructura a utilizar para maximizar la integración entre los modos de transporte y la minimización de los tiempos de transición entre los diferentes modos de transporte.

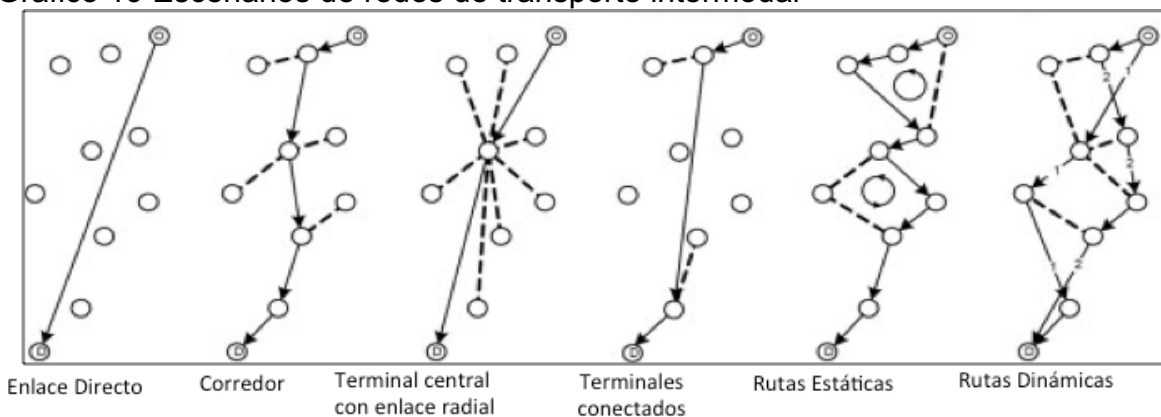
El trabajo objeto de esta investigación, abordará la propuesta de diseño de una red de transporte intermodal, que contempla las decisiones estratégicas, tácticas y operativas mencionadas, lo cual conlleva a una modelación multiobjetivo, donde se debe considerar la selección y localización de nodos terminales para el intercambio modal, de tal manera que minimice los costos totales de acarreo, determine la distancia máxima que debe existir entre los nodos generadores y/o receptores de carga con los nodos de intercambio modal, así como maximización de la integración entre los modos de transporte, esto último medido como la tecnología de intercambio modal que minimice los costos operativos de la terminal de intercambio modal.

Para lograr lo expuesto, se debe identificar desde la perspectiva estratégica, los posibles escenarios para la configuración de la red de transporte, actividad que corresponde al operador de la red, en la se consideran los diferentes modelos o escenarios susceptibles de desarrollar. (Steadieseifi, Dallaert, Nijijten, Van Woensel, & Raoufi, 2014), referencian en la revisión realizada que existen varias topologías de redes de transporte,

El Gráfico 19, adopta la perspectiva del operador de un sistema de transporte. Un ejemplo fijo con diez nodos ilustra los diferentes enlaces utilizados para la asignación de transporte desde el origen (O) hasta el destino (D). La teoría se basa en el supuesto de que una oferta suficiente de infraestructura permite los vínculos directos entre todos los terminales de la red y de que todos los terminales son capaces de servir como orígenes y destinos, así como puntos de transferencia. El operador de red puede decidir si debe operar los enlaces y nodos él mismo o utiliza los servicios facilitados por otros operadores. (Woxenius, Generic framework for transpor network designs, 2007). A continuación, se describe brevemente cada tipo de red.

Enlace directo: considerado como el diseño de facilidades de mayor grado de flexibilidad, corresponde al enlace directo entre los pares O (origen) y D (destino), no existe participación de ningún otro tipo de nodo en la red, no existe coordinación en el transporte entre otros pares de O – D, (Woxenius, Generic framework for transpor network designs, 2007), el tiempo es independiente de otros medios de transporte, excepto cuando se considera la congestión y la sincronización del transporte de retorno.

Gráfico 19 Escenarios de redes de transporte intermodal³



Fuente: (Woxenius, 2007) tomado de (Stadieiseifi, Dallaert, Nijijten, Van Woensel, & Raoufi, 2014)

Corredor: es un diseño basado en un flujo de alta densidad a lo largo de una vía o corredor logístico principal, con enlaces en vías arterias con nodos en el corredor. Los nodos están organizados en forma jerárquica, en el ejemplo, O es un nodo satélite y D es un nodo corredor. (Woxenius, Generic framework for transpor network designs, 2007)

Terminales con enlaces radiales (hub and spoke): En el diseño de hub-and-spoke, un nodo se designa como el centro, y todos los transportes llaman o coordinan con este nodo para la transferencia, incluso para los medios de transporte entre orígenes y destinos adyacentes. Mientras que las operaciones siguen los principios simples, el reto es coordinar un gran número de servicios de transporte interdependientes. (Woxenius, Generic framework for transpor network designs, 2007)

Terminales conectados (Connected hubs): El diseño de los terminales conectados es otro diseño jerárquico en el que los flujos locales se recogen en los centros que a su vez están conectados a otros centros de otras regiones. Por lo tanto, se puede describir como una relación directa con la consolidación regional. (Woxenius, Generic framework for transpor network designs, 2007)

Rutas estáticas: Cuando se utiliza el diseño de rutas estáticas, el operador de transporte designa una serie de enlaces que se utilizan en una base regular. En contraste con el diseño hub-and-spoke, varios nodos se utilizan como puntos de transferencia a lo largo de la ruta. La transferencia no es necesaria en cada nodo. Por lo general, sólo una parte de la carga se transfiere, y el resto se queda en los medios de transporte al siguiente nodo. En el

³ Seis opciones para el transporte de Origen / Destino, en una red de diez nodos. Las líneas de puntos muestran los vínculos operacionales relacionados con el diseño de la red. En "rutas dinámicas", se muestran dos rutas alternativas. En todos los otros diseños, el enrutamiento está predefinido

Enlace directo: considerado como el diseño de facilidades de mayor grado de flexibilidad, corresponde al enlace directo entre los pares O (origen) y D (destino), no existe participación de ningún otro tipo de nodo en la red, no existe coordinación en el transporte entre otros pares de O – D, , el tiempo es independiente de otros medios de transporte, excepto cuando se considera la congestión y la sincronización del transporte de retorno.

Gráfico 19, o está en un bucle de una sola vía, conectados por un enlace de conexión para un bucle de dos vías, que a su vez está conectado a D a través de otro nodo. (Woxenius, Generic framework for transpor network designs, 2007)

Rutas dinámicas: La máxima flexibilidad es ofrecida por el diseño de rutas dinámicas. Los enlaces son designados en función de la demanda real, y el operador de red puede elegir muchas rutas diferentes entre los servicios de O y D. Los transportes son planificados por la heurística o métodos de optimización. En una forma extrema, las rutas se pueden modificar durante el transporte. (Woxenius, Generic framework for transpor network designs, 2007)

8.1.1 Características operacionales y aplicación del diseño de la red

En la propuesta de un marco de referencia para el diseño de redes de transporte, Woxenius se enfoca en las ventajas y desventajas operacionales en el contexto habitual de cada diseño, igualmente, hace una presentación de la aplicación en el mundo real en el servicio de transporte de pasajeros, carga y mercancías por ferrocarril.

Para efectos de tener elementos de juicio para la selección de la propuesta de diseño de una red de transporte intermodal en el corredor Bogotá - Buenaventura, se presentará una breve sinopsis de las ventajas y desventajas planteadas por (Woxenius, Generic framework for transpor network designs, 2007).

Enlace directo

Este diseño se caracteriza por:

- Presentar alto grado de flexibilidad.
- Eficiente, en tanto se presente un flujo lo suficientemente grande para la frecuencia requerida.
- El tiempo en este tipo de red es independiente al modo de transporte, excepto cuando se presenta congestión y se hace necesaria la sincronización del transporte de regreso.
- Este tipo de red, privilegia el transporte por carretera en vehículos más pequeños en comparación con el transporte marítimo o por tren.
- Pondera el éxito en función de la alta circulación por carretera por este modo de transporte.

Ejemplos de éste tipo de red es el servicio de taxi para la movilización de pasajeros, en tanto para el caso de transporte de mercancías, se ejemplada con el camión cargado completamente.

Para Somar 2006 citado en (Woxenius, Generic framework for transpor network designs, 2007), este tipo de red, plantea un cierto tipo de conveniencia, donde a menudo la selección se basa estrictamente en el costo y calidad del servicio consolidado.

Assad 1980 citado en (Woxenius, Generic framework for transpor network designs, 2007), plantea que el transporte de mercancías por tren requiere una mayor consideración y planificación, lo que podría fomentar la toma de decisiones en forma más racional.

El corredor directo es comúnmente diseñado para movilizar grandes cantidades de commodities, pero se utiliza también para servicios técnicamente especializados.

Corredor

Los corredores surgen a partir de las concentraciones antiguas tanto de población como de industria, particularmente en los cinturones de suelos ricos en recursos o fértiles.

- Son el resultado de desarrollos que no son técnicamente planificados para dar solución a problemas logísticos,
- Este tipo de red se ve favorecido por la oferta de infraestructura como ríos o canales, al igual que caminos principales y líneas troncales del ferrocarril que con el transcurrir del tiempo han fomentado el asentamiento de poblaciones a lo largo de la línea como lo cita (Priemus y Zonneveld, 2003) en (Woxenius, Generic framework for transpor network designs, 2007).
- Los modos de transporte no se encuentran integrados a lo largo de los corredores, sin embargo, la fragmentación derivada de la competencia intramodal se está reduciendo
- Concibe que la complementariedad de los modos de transporte a lo largo de los corredores, evita la congestión y se convierten en la fuerza impulsora primaria.
- Operacionalmente el diseño Corredor, requiere de cortas paradas en terminales intermedios.
- Requiere de una buena sincronización entre la operación del corredor y el tráfico capilar, para reducir las esperas.
- Una alta frecuencia y capacidad ociosa limita las consecuencias, lo que conlleva un reto especial para los operadores, el cual es sopesar la capacidad ociosa contra los ingresos de un alto grado de ocupación.
- La red tipo corredor ofrece alta velocidad, lo cual atrae flujos de las zonas próximas al corredor condicionado a que los trenes paren en las terminales intermedias.

Ejemplos de este tipo de configuración, se encuentra en la costa este de Japón, el corredor Bost-Wash en los Estados Unidos, entre otros citados por (Rodríguez, 2004) y (Shönharting et al, 2003) en (Woxenius, Generic framework for transport network designs, 2007), también se puede mencionar como un ejemplo típico del diseño corredor, el de los trenes de pasajeros interurbanos con paradas frecuentes a lo largo de la línea.

El tráfico de mercancías en barcazas por vías fluviales es otro ejemplo del uso del diseño tipo corredor, otra de aplicación es el de los ferrocarriles de Clase I, que coopera con alimentadores de recorridos cortos en Estados Unidos.

Sistema Terminal con enlaces Radiales (Hub and Spoke)

Este es un sistema que ha presentado una evolución importante en áreas con un centro dominante y satélites dependientes. El arquetipo de éste diseño se encuentra en Francia, donde París tiene el rol dominante en la sociedad francesa; todos los trenes de pasajeros de alta velocidad sirven desde París.

- Este es un sistema que ha sido creado de forma activa por parte de los operadores.
- El centro del sistema de transporte de mercancías (hub), es generalmente robusto y se localiza después de realizar la modelación de costo total mínimo de la red de transporte intermodal.
- El terminal concentrador se selecciona entre un conjunto de opciones terminales localizados centralmente, con un papel significativo como origen y destino.
- Es más eficiente, en la medida que ayuda a hacer el transporte intermodal competitivo frente al transporte por carretera.
- La idea básica del sistema hub-and-spoke, es que un alto grado de llenado en los medios de transporte se compensa por las mayores distancias de transporte y transferencia.
- La elevada utilización de los recursos se puede lograr si no hay restricciones de tiempo de transporte.
- Las mercancías y medios de transporte hacen parada en todos los terminales hasta que corresponda con el total de la capacidad de los medios de transporte.
- La mayoría de las aplicaciones, sin embargo, se adhieren a un horario estricto donde los tráficos de todos los radios se unen en el centro para una transferencia rápida de un gran número de artículos. Esta operación, obviamente, requiere un concentrador racional (Hesse y Rodrigue, 2004).

Las aplicaciones típicas de éste sistema están dadas por el servicio de transporte aéreo (como lo detalla O'Kelly; 1998 citado en (Woxenius, Generic framework for transport network designs, 2007)), las aerolíneas de Estados Unidos operan el sistema hub-and-spoke, al igual que los vuelos dentro de Europa. En materia de

transporte ferroviario existen pocos ejemplos, aunque los operadores intermodales alemanes Transfracht™ y BoxXpress™, operan sistemas hub-and-spoke. También, Intercontainer-Interfrigo™ opera un sistema concentrador de volúmenes que no permiten los trenes directos (Intercontainer-Interfrigo, 2006). En los EE. UU los trenes de doble estiba de contenedores marítimos operan en gran parte a través de Chicago, Illinois; con una terminal que para el 2006 no estaba terminada, operaba con un estimado de 14 millones de TEUS, una alta concentración comparable con los principales puertos de contenedores marítimos. (Woxenius, Generic framework for transport network designs, 2007).

Terminales conectados (Connected hubs)

Visto de forma local, el sistema de terminales conectados se asemeja al sistema de hub-and-spoke, como lo plantean diferentes autores (por ejemplo, O'Kelly, 1998; Horner y O'Kelly, 2001; Racunica y Wynter, 2005), que incluyen la definición del sistema hub-and-spoke.

Se caracteriza por:

- Contar con más de un terminal concentrador de carga a lo largo del corredor logístico.
- La existencia de terminales a lo largo de la vía implica la consolidación y desconsolidación de carga en comparación con el enlace directo.
- La fundamentación operativa del sistema de terminales conectadas es la consolidación de la mercancía.
- Es un patrón que se utiliza tanto en el transporte general nacional por carreteras, como en el transporte internacional.
- Hubs conectados también se utilizan en el transporte de contenedores en buques alimentadores, barcazas, lanzaderas ferroviarias (es decir, los trenes con un número fijo de vagones que circulen entre dos terminales) o un gran número de camiones alimentando a los centros con contenedores.
- A nivel internacional, se utiliza en el transporte de mercancías por tren que van cargados en toda su capacidad entre dos grandes estaciones de clasificación como Hallsberg en Suecia y Maschen en Alemania.

Rutas estáticas

El diseño de rutas estáticas tiene aplicación en la recogida conjunta de pasajeros o usuarios que generalmente tienen acceso a la misma ruta de servicio público de transporte o a los horarios estrictos de programación del servicio, se caracteriza por:

- El usuario puede combinar diferentes servicios para conectar un gran número de orígenes y destinos.
- Un ejemplo clásico es el servicio urbano de transporte público.

- También se puede apreciar en los servicios postales y algunos servicios de transporte de carga general o paquetero.
- Ejemplos de transporte de mercancías por ferrocarril son raros, pero hay algunas semejanzas con la prestación de servicios de carga general clásicos, incluyendo cuando los ferrocarriles ofrecen el transporte de los envíos de menos de un vagón completo.
- A menudo, los sub servicios están organizados en bucles, pero los bucles no necesitan nodos comunes para la transferencia; se pueden organizar como áreas de recolección y entrega con enlaces de conexión.
- Cuando un medio de transporte se llena, las rutas se pueden cortar del circuito y ser respaldadas por otra unidad de transporte.
- Los usuarios se limitan a la búsqueda de terminales de transferencia pertinentes en caso de alta frecuencia y capacidad ociosa.
- A falta de capacidad ociosa o baja frecuencia, el usuario debe programar con anticipación el uso para tener mayor holgura en sus desplazamientos.
- Las decisiones se darán en concordancia con el uso de los sistemas de soporte que ofrecen los operadores del sistema de transporte por internet.
- En los servicios de transporte de mercancías, el plan de carga es fundamental, se debe permitir la manipulación de las mercancías en todos los nodos.

Rutas Dinámicas

A diferencia de las rutas estáticas, el diseño de rutas se realiza de manera diferente cada vez, es decir, difiere tanto en la ruta tomada a través de la red, como con la programación de las salidas y llegadas a las terminales, entre sus características se encuentra:

- Captura y procesamiento de la demanda de manera oportuna se convierte en un factor crucial para la planificación.
- La información oportuna se requiere para la optimización de la ruta y la planificación de ruteo para la recogida.
- Tjokroamidjojo et al. (2006), hace su contribución con la teoría sobre lo que sucede cuando ambos datos tanto de envíos como de demanda se encuentran disponibles a través del tiempo.
- Un ejemplo de servicio de transporte basado en rutas dinámicas, es el servicio de limusina en los aeropuertos de Estados Unidos.
- En una operación a pequeña escala, el conductor simplemente pide a los hoteles los pasajeros que quieran acceder al servicio y el ajusta la ruta en consecuencia.
- Para mayores flujos, la red de rutas dinámicas se aplica mejor con un sistema de planificación centralizada.
- El arquetipo de aplicaciones de carga es de camiones con carga parcial, es decir, menos-que-camión operando sin terminales donde todos los envíos se quedan en el camión.

- La planificación del transporte se lleva a cabo después de procesar los datos de demanda desde el sistema de reservas, ya sea por reglas generales o asistidos por herramientas de optimización.

Las aplicaciones de transporte tanto de pasajeros como de mercancías se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Las aplicaciones típicas de los diferentes diseños de redes de transporte en los servicios de transporte

	<i>Enlace Directo</i>	<i>Corredor</i>	<i>Hub-and-spoke</i>	<i>Terminales Conectados</i>	<i>Rutas Estáticas</i>	<i>Rutas Dinámicas</i>
Pasajeros	Servicio de Taxi	Servicio de tren entre ciudades	Tráfico doméstico aéreo	Tráfico internacional aéreo	Servicio de transporte urbano	Servicio de limousine en aeropuertos
Mercancías	Servicio de transporte en camiones	Transporte por corredores interiores y vías navegables.	Transporte aéreo de carga express	Transporte de contenedores	Servicio de correo y carga en camiones	Parte del servicio de camiones en carga
De mercancías por ferrocarril	Soluciones especializadas a gran escala	Ferrocarriles clase 1 y líneas cortas	Doble pila de contenedores	Tráfico internacional de vagones completos	Servicio de carga general clásica	Clásico vagón con operación de maniobras frecuentes.

Fuente: (Woxenius, Generic framework for transport network designs, 2007) Pag. 739

De acuerdo con la literatura revisada y en consecuencia con lo presentado en la tabla 1, se determina que la estructura o tipología de red de transporte intermodal a seleccionar para el correspondiente modelamiento matemático del corredor objeto de estudio, es el terminal conectado (hubs connected), toda vez que sus características tipifican la alternativa más ajustada al problema identificado en el corredor Bogotá – Buenaventura.

8.2 IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE MODELO DE OPTIMIZACIÓN

La definición del modelo de optimización está asociado al tipo de red que se diseñe, en el problema objeto de estudio, se considerará como alternativa a evaluar de acuerdo con lo enunciado en el numeral anterior, una red de transporte multimodal tipo terminales conectados (hubs connecteds).

La literatura científica define el problema de localización de terminales para una red de transporte multimodal, como generalización del problema HLP (hub location problem) en tanto permite funciones de costo cóncavas no lineales en diferentes segmentos. (Racunica & Wynter, 2005), presentan un modelo de optimización en una red de transporte intermodal a través del uso del tipo de red hub-and-spoke, el modelo propuesto, busca el uso intensivo del modo de transporte férreo no sólo para recorridos largos y valores bajos de distribución, sino también en distancias de longitud media también. Los autores consideran un procedimiento de linealización junto con dos heurísticas de reducción eficiente de variables para la resolución de la modelación, haciendo uso de los resultados sobre las propiedades poliédricas de este tipo de problemas. Para el caso objeto de estudio, ésta modelación matemática representa una alternativa tanto para el

diseño como para la optimización de la propuesta, considerando lo planteado por O'Kelly, 1998; Horner y O'Kelly, 2001; Racunica y Wynter, 2005, en torno a la semejanza de ésta tipología con la de los hubs o terminales conectados.

(Arnold, Peeters, & Thomas, 2003) abordan el problema de localización óptima de terminales de ferrocarril/carretera para el transporte de mercancía, mediante formulación de un modelo de programación lineal entera, que se resuelve con un enfoque heurístico; la modelación se aplica al sistema de transporte ferrocarril/carretera en la península Ibérica, en dicha modelación se consideran cinco (5) escenarios de plantificación. Los autores demuestran que las acciones modales son muy sensibles al costo del ferrocarril y la de seguimiento de los cambios en la vía en la frontera española. La localización de los terminales presenta poco o ningún impacto en las cuotas de mercado de la combinación de tráfico, sin embargo, cambios en la ubicación en la Península genera consecuencias en todo el sistema de transporte europeo.

(Alamur, Kara, & Karasan, 2012), presentan un modelo, donde se propone un desarrollo del problema de diseño de una red multimodal y localización del sitio de intercambio modal, considerando los costos de transporte y los tiempos de viaje, los cuales se estudian de manera separada en la literatura acerca del problema de localización del sitio de intercambio modal. Igualmente, el modelo contempla diferentes modos de transporte para la conexión entre las áreas de intercambio y las diferentes promesas de tiempo de servicio entre las parejas origen-destino donde se realiza el diseño de la red multimodal. En el mismo sentido, (Ishfaq & Sox, 2011) desarrollan un modelo matemático utilizando múltiple localización de áreas de intercambio; el modelo abarca la dinámica de los distintos modos de transporte a través de los costos de transporte, costos de conectividad modales, y los costos de ubicación fija en virtud de los requisitos de tiempo de servicio. Una búsqueda meta-heurística se utiliza para resolver un problema de gran tamaño.

(Sörensen & Vanovermeire, 2013) presentan un sistema de transporte intermodal, como un problema de localización de terminales en una red de terminales intermodales, haciendo énfasis en las ubicaciones óptimas de las terminales. Se desarrolla en el trabajo de Sörensen & Vanovermeire un modelo bi-objetivo, que busca minimizar tanto el costo de transporte para los usuarios de la red de terminales, así como el costo de ubicación para los operadores de terminales. Se desarrolló como un problema específico tipo GRASP (Procedimiento de búsqueda adaptativa aleatoria) para resolver el problema de localización del terminal de manera eficiente. De acuerdo con Pedersen et al, citado por (Sörensen & Vanovermeire, 2013), el factor más importante que contribuye a la atractividad de la alternativa intermodal de transporte es la localización de las terminales intermodales; también son identificados otros factores como la frecuencia y la disponibilidad (o conectividad, habilidad de servir a cualquier par de localizaciones origen – destino), y más recientemente investigaciones adicionan otros criterios como flexibilidad y fiabilidad; plantean los autores que el número correcto y la localización óptima, pueden generar un incremento en el uso de la red intermodal.

Desde otra perspectiva, (Breakers, Caris, & Janssens, 2013), abordan un elemento importante en las operaciones relacionadas con las terminales de intercambio modal, donde los contenedores cargados o vacíos necesitan ser transportados en una pequeña área geográfica, este aspecto, tiene relación directa en gran medida con el tipo de tecnología utilizada en los patios de las zonas de intercambio modal. Los autores lo formulan como el problema de ruteo del agente viajero asimétrico con ventanas de tiempo, planteando tres posibles algoritmos, donde alcanzan los mejores resultados mediante un algoritmo híbrido de dos fases una fase de recocido determinístico y la otra fase de búsqueda tabú. Este trabajo de investigación aporta elementos que permitirán hacer una modelación de mayor alcance, en la medida que se aborde como un sistema de interacción de todos los actores de la cadena de abastecimiento en la red multimodal.

(Caramia & Guerriero, 2008), plantean un enfoque heurístico en el transporte de mercancías en trayectos extensos, con una función múltiple objetivo, donde en el problema de enrutamiento de vehículos se debe minimizar los tiempos de viaje, los costos de ruteo, junto con la maximización del índice de un sistema de transporte compartido, relacionado con la capacidad del sistema de transporte que genere economías de escala. Igualmente, en el estudio presentado por los autores, se tienen en cuenta aspectos tales como restricciones relacionadas con nodos obligatorios (Ej. La plataforma logística más cercana al origen o al destino) y los nodos prohibidos (Ej. Las plataformas logísticas no compatibles con las operaciones requeridas), aunque para el tema de estudio, éste último no será el caso, pues se trata de modelar una situación ideal partiendo del desarrollo de infraestructura requerida, por tanto no habrá restricciones de compatibilidad. En la resolución de éste problema, los autores proponen un heurístico que se puede aplicar en la fase de planeación táctica y en la fase de planeación operativa.

En la consolidación de una red de transporte multimodal, un aspecto clave está relacionado con la localización de las terminales o plataformas logísticas que sirvan o faciliten el intercambio modal; en este sentido, (Zanjirani Farahani, Hekmatfar, Bolori Arbani, & Nikbakhsh, 2013), abordan el problema de localización de terminales intermodales (HLP hub location problem), como una nueva extensión del problema clásico de localización. Precisan los autores en este capítulo, que los Hub, son instalaciones que trabajan como consolidado res, conexión y puntos de intercambio modal en el flujo establecido entre un par de origen – destino. En sus consideraciones, los autores plantean que con el uso de pocos recursos pueden ser servidos de forma eficiente un par de origen – destino donde una red de hub conecten toda la infraestructura existente. Igualmente establecen que los costos de la red dependen en gran medida de la estructura de la misma, en tanto que la distancia de los arcos que conectan toda la red puede ser mayor con el uso de las terminales o plataformas logísticas, ya que no existe la garantía de que el volumen de mercancías que se mueve en las conexiones hub-to-hub sea el que se desplaza entre el centro y los arcos de toda la red.

Esta situación expuesta por Farahani et al., obliga a tener consideraciones específicas en la estructura del modelo objeto de la presente investigación, pues sería necesario determinar cuál debería ser la mínima de las máximas distancias de los nodos generadores de carga hacia la terminal de intercambio modal, ésta consideración particular permitiría establecer la distancia entre terminales de intercambio modal y los radios de acción de cada una de esas terminales frente a los nodos generadores o receptores de carga.

En el marco del 15th meeting of the Euro Working Group on Transportation (15^o reunión del Grupo de Trabajo sobre el Transporte en Europa), (Hansen, Mathise, & Jorgensen, 2012), mencionan que la preferencia en la utilización o configuración de una red intermodal se da cuando:

- Los costos de manejo en los terminales se incrementan
- Incremento en la distancia total de transporte
- Incremento en los costos pre (logística de primera milla) y post (logística de última milla) a la larga distancia se incrementan.
- Las dependencias de los costos marginales generalizados del transporte por ferrocarril se incrementan
- La dependencia de los costos generalizados del transporte por tracto camión decrecen
- Los costos de descanso (tiempos muertos en ruta) para los conductores se reduce

Asimilando estos aspectos; en el corredor Bogotá – Buenaventura se encuentra que están dadas las condiciones para que en el transporte de mercancías se plantee el desarrollo de una red de transporte intermodal; que de acuerdo con lo planteado en (Hansen, Mathise, & Jorgensen, 2012), en un corredor con estas características se requiere la configuración de una red intermodal.

(Li, Hu, & Su, 2013), presentan una modelación matemática de localización con restricciones de capacidad incluyendo la teoría de colas en las operaciones de la terminal de intercambio modal, buscando mantener un nivel de servicio aceptable. En la modelación se toman en cuenta los costos fijos de operar la terminal, la localización del hub se decide mediante una variable binaria, en este tema del problema de localización del terminal intermodal, (Lin, Chiang, & Lin, 2014), presentan un modelo eficiente y un heurístico para el problema de localización de una terminal intermodal, buscando minimizar los costos totales de transporte, minimizar los costos operacionales a través de la colaboración de los modos de transporte y la cadena de transporte intermodal. Los autores hacen referencia a que el problema de localización de la terminal de intercambio modal (ITLP), es un caso especial del problema (HLP) hub location problem, con la diferencia que la terminal intermodal realiza operaciones específicas dentro de la cadena de abastecimiento. Este artículo hace un aporte importante al problema objeto de estudio, a la luz de los aportes que hace Alamur & Kara, en cuanto a la clasificación de los problemas de localización de hubs o terminales. En particular,

el problema P-hub center, de acuerdo con lo planteado en Alamur & Kara, es un problema tipo minimax, en la medida que las instalaciones del terminal cubren los nodos demanda que se encuentran a una distancia específica donde su demanda puede ser atendida.

Este aspecto, permite que en la modelación del problema objeto de estudio, se establezca como objetivo, determinar la mínima de las máximas distancias que debe recorrer el modo de transporte por tracto camiones, además de indicar los radios de influencia de los terminales de intercambio modal y la cantidad de terminales en la propuesta de la red de transporte multimodal.

(Sirikijpanichkul, Van Dam, Ferreira , & Lukszo, 2007) presentan una propuesta de modelación matemática para la evaluación de decisiones de localización de terminales de intercambio modal de modo de transporte por tracto camión a modo de transporte ferroviario y viceversa; en la modelación se definen cuatro agentes dominantes a saber, los operadores o propietarios de las terminales de intercambio modal, proveedores de infraestructura de la red de transporte, los usuarios de las terminales y la comunidad. El enfoque del modelo basado en estos agentes es introducido para permitir la negociación que propenda por alcanzar los objetivos globales planteados. La modelación presentada por Sirikijpanichkul et al., se enfoca en una red de transporte bimodal (tracto camiones y ferrocarril) la cual es aplicable en condiciones de largos trayectos, donde el modo ferrocarril es costo-efectivo para el transporte en grandes distancias con un volumen importante de mercancías, en tanto el modo carretero es más flexible en su ruta y flexible para distancias medias o cortas en actividades de recogida y distribución.

Igualmente, en otra publicación, (Sirikijpanichkul & Ferreira, 2005), resalta la importancia de la localización de terminales en la cadena de abastecimiento en lo relacionado con el movimiento de mercancías. En particular, los autores reconocen como un factor clave de éxito la localización adecuada de las terminales de intercambio, en la medida que éstos afectan directa o indirectamente a los grupos o actores de la cadena de abastecimiento; sostienen los autores en este aspecto, que se han presentado intentos importantes en el desarrollo de modelos para evaluar la ubicación óptima de los terminales, sin embargo, estos modelos tienden a maximizar los beneficios de los propietarios de terminales y usuarios. Sólo unos pocos han hecho intentos para incluir impactos en la comunidad; en este aspecto, los autores plantean la importancia de hacer frente a la percepción individual y el comportamiento estratégico de cada uno de los grupos de interés, sin embargo, establecen que no hay estudios concretos ni concluyentes de cómo la expansión del terminal, la interdependencia de los terminales de intercambio modal y las políticas de flete afecten el patrón de ubicación de los terminales. Proponen los autores el desarrollo de un modelo que permita evaluar las decisiones de localización de terminales de carga intermodal, utilizando las técnicas multi-objetivo adecuadas, derivadas de la investigación y se apoyan en algunos módulos establecidos donde se incluye variables como el uso del suelo, modelos de redes de transporte, viabilidad financiera, costos de uso del

terminal, la interdependencia de las terminales y las políticas de transporte de mercancías en el patrón de ubicación de las terminales, este último aspecto, se aborda con el uso de pruebas de sensibilidad

(Kayikci Y. , 2010), presenta un modelo conceptual sobre decisiones de localización de centros de intercambio modal de mercancías, el modelo explora la aplicabilidad de un modelo basado en una combinación de un procesos de análisis jerárquico difuso (AHP fuzzy), y método de análisis de redes neuronales ANN, para lo cual presenta un modelo numérico como ejemplo, aspecto que para el corredor objeto de estudio se torna importante, toda vez que a lo largo del corredor propuesto no se cuenta con terminales de intercambio modal.

8.2.1 Selección de Modelo Matemático para la Optimización de una Red de Transporte Multimodal en el Corredor Bogotá Buenaventura.

La literatura revisada permite establecer que la configuración de una red de transporte multimodal (road and rail) se fundamenta en la solución del problema de localización de terminales de intercambio modal (HLP Hub location problem), igualmente podría ser más complejo si una vez definidos los potenciales lugares de ubicación de las terminales, se hace necesario seleccionar la mejor opción dentro de los sitios para el establecimiento de la terminal, en este caso, sería un problema de localización selección (location allocation hub problem).

En el caso particular del corredor objeto de estudio, se tiene la presencia o existencia de una serie de nodos generadores de carga con características particulares que no permiten ser considerados como eventuales zonas de intercambio modal, de tal manera que el modelamiento de la red objeto del presente estudio contempla como objetivo la definición de posibles lugares a lo largo del corredor, donde se deben localizar los hub o terminales de intercambio. El objetivo del modelamiento matemático, es determinar la cantidad de zonas de intercambio modal, las zonas para la localización que minimice los costos totales de transporte en el corredor Bogotá – Buenaventura, igualmente, el modelo debe permitir seleccionar el tipo de tecnología que se debe utilizar en el corredor objeto de estudio.

El corredor férreo Bogotá – Buenaventura, es un corredor donde la alternativa para reducir la distancia a recorrer no es posible, en el plazo inmediato, toda vez que la infraestructura férrea no se encuentra en planes de ser intervenida en el mediano y largo plazo. El desarrollo de nueva infraestructura en el corredor objeto de estudio, permitirá fortalecer la actividad logística, permitiendo con ello reducir en aproximadamente 35 km la distancia entre Cali y Buenaventura, por tanto, el modelamiento de este corredor debe estar orientado a minimizar los costos totales de transporte, costos que involucran tanto el costo de transporte por modo carretables, el costo por modo de transporte ferroviario. En el contexto de los costos, también se debe tener los costos asociados a las terminales de intercambio modal, donde, la tecnología utilizada para llevar a cabo las

operaciones de intercambio modal, juegan un rol importante, por tanto, el modelamiento del corredor objeto de estudio deberá permitir seleccionar la tecnología de menor costo en las zonas de intercambio modal, cabe resaltar que para llevar a cabo las operaciones en las zonas de intercambio modal, existen tres tipos de tecnología a saber:

- Grúas pórtico: COFC (Container on flat car) – tráiler transportado sobre vagón chasis o vagón rebajado, especialmente para contenedores o también vagón plataforma tradicional (Gutiérrez Morales, 2007)
- Carretera rodante: es una tecnología, de origen suizo, para transporte de camiones enteros y de vehículos articulados utilizando vagones con ruedas de diámetro reducido (transporte combinado carretera/ferrocarril acompañado). (Ministerio de fomento, 2001)
- Tráiler transportado sobre vagón. TOFC (Trailer on flat car) – trailer transportado sobre vagón, generalmente rebajado y provisto de bolsas para el alojamiento de sus ruedas. (Gutiérrez Morales, 2007)

Con base en lo anterior, para el desarrollo del modelamiento del corredor propuesto en la presente investigación, se tendrá como referente los aspectos contemplados por los autores (Caramia & Guerriero, 2008), que plantea un enfoque heurístico en el transporte de mercancías en trayectos extensos, con una función múltiple objetivo, y (Alamur, Kara, & Karasan, 2012), que presentan un modelo, donde se propone un desarrollo el problema de diseño de una red multimodal y localización del sitio de intercambio modal, considerando los costos de transporte y los tiempos de viaje, los cuales se estudian de manera separada en la literatura acerca del problema de localización del sitio de intercambio modal. Con el propósito de tener en cuenta los costos de operación de las terminales de intercambio modal, se tomará como referente algunos de los aspectos planteados por (Breakers, Caris, & Janssens, 2013), dentro de cuales se abordan un elemento importante en las operaciones relacionadas con las terminales de intercambio modal, donde los contenedores cargados o vacíos necesitan ser movidos en un espacio relativamente pequeño. Por último, una vez definidas las zonas donde debería por modelamiento localizarse las terminales de intercambio modal, se hace necesario llevar a cabo la selección, en este sentido, se tomará como referente los aspectos considerados en el artículo propuesto por (Kayikci Y. , 2010).

9 DISEÑO Y RESOLUCIÓN DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN COMBINADO CON TÉCNICAS MULTICRITERIO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS MEJORES MODOS DE TRANSPORTE MULTIMODAL PARA EL MANEJO DE CONTENEDORES

El diseño de una red de transporte intermodal es una decisión de carácter estratégico, que busca determinar la localización y el número de hubs (zonas o instalaciones de intercambio modal) que harían parte de la red. Esos hubs deben ser localizados donde convergen diferentes modos de transporte (Macharis & Bontekoning, Opportunities for OR in intermodal freight transport: A review., 2004). La función objetivo es minimizar los costos de transporte en la red más los costos fijos de abrir y operar un hub. Igualmente, el modelo deberá determinar la capacidad de los hub y el tipo de tecnología que maximice la integración y minimice los tiempos de transición entre modos de transporte.

El problema principal objeto del presente trabajo es la localización de los hub (zonas de intercambio modal). En la literatura revisada, Steadieseifi, Dellaert, Nuijten, Van Woensel, & Raoufi (2014) and Farahani, Hekmatfar, Arabani, & Nikbakhsh (2013), se define el problema básico y todas las variaciones que han sido abordada por los investigadores. En el problema de localización de hubs (zonas de intercambio modal) se considera una red de nodos conectados por los cuales la mercancía contenedorizada es enviada desde un nodo origen a un nodo destino e igualmente entre otros nodos. La solución de este tipo de problemas se enfoca en seleccionar uno o más nodos concentradores de carga y que sirvan para el intercambio modal, además de asignar cada nodo no hub a los nodos hubs, de modo que los contenedores se envíen a través de los hub, en lugar de ser enviados de manera directa entre nodos o a través de la red completa de nodos.

Normalmente, el transporte entre hubs (zonas de intercambio modal) se realiza recorriendo largas distancias y utilizando un modo de transporte más económico como el ferrocarril, de manera que minimizan los costos logísticos totales, buscando satisfacer todas las demandas de los nodos. Además, dado que la mayor parte del transporte se realiza entre centros por ferrocarril, la congestión, la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación atmosférica en las ciudades deberían disminuir. Una característica compleja de los problemas de localización de hubs generales, es que la función objetivo es cuadrática, factor que agrega complejidad al proceso de toma de decisiones.

9.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA OBJETO DE MODELAMIENTO

El corredor Bogotá - Buenaventura, es una de las más importantes rutas de transporte de carga contenedorizada, con una longitud de 540 Km, es una de las rutas de transporte de contenedores más importantes de Colombia, en la cual circulan cerca de 15 millones de toneladas anuales, el 40% de la carga de comercio exterior diferente a hidrocarburos y minería, (Pardo Q., 2014), a lo largo

del corredor se encuentran un número importante de nodos generadores de carga, entre los cuales se identifican, zonas francas, empresas productoras que cuentan con el beneficio de zonas francas, empresas productoras y comercializadoras, empresas de servicios logísticas, zonas de consolidación de carga, etc. Dichas organizaciones son usuarias permanentes del corredor objeto del estudio tanto para la impo como para expo.

En la actualidad, la mayor parte de la carga que se moviliza por el corredor, se lleva a cabo en el modo de transporte por carretera exclusivamente. Algunas mercancías se trasladan por ferrocarril, pero no existe un sistema integrado de transporte intermodal o multimodal en el país. Esta investigación permite anticiparse a las decisiones donde todos los grupos de interés deberán abordar soluciones, adecuadas a esta problemática, en un futuro cercano

Se pretende con la modelación matemática de este sistema, minimizar los costos totales de transportar tanto en impo como expo la carga contenedorizada que hace uso de este corredor, para lo cual se analizará la utilización de un sistema de red de transporte multimodal (bimodal), por lo tanto, se hace necesario identificar en el corredor la localización de las zonas de intercambio modal, la determinación de la distancia máxima que debe hacer la carga transportada en camiones y el tipo de tecnología requerida en cada zona de intercambio modal, de tal manera que se pondere el uso del ferrocarril para el transporte de carga en trayectos extensos.

En este orden de ideas, se pretende establecer cuántas zonas de intercambio modal deben existir a lo largo del corredor y a qué distancias se deben localizar, para lo cual se pretende mediante una función matemática establecer la máxima de las distancias que recorren los tractos camiones, de tal manera que se minimice el costo total de transporte. Con la distancia obtenida, se determina el radio de acción de cada zona de intercambio modal, de tal forma que permita establecer en el trayecto de 540 km que existe entre Bogotá y Buenaventura, el número de zonas de intercambio modal y la distancia entre cada zona. Definido lo anterior, el modelo permitirá seleccionar entre las diferentes tecnologías existentes para minimizar los costos de operación en la zona de intercambio modal, logrando con esto minimizar los costos totales de la operación.

Como resultado de lo anterior, el modelo permite la macro localización de las zonas de intercambio modal desde la perspectiva de optimización, igualmente, se definirán criterios cualitativos y cuantitativo que contribuyan al proceso de toma de decisiones de localización orientados a establecer la mejor propuesta de localización que consolide y consensé los intereses de los diferentes grupos de interés en torno a la movilización y reducción de costos logísticos y de transporte en el país, procurando con ello la competitividad.

9.2 MODELACIÓN MATEMÁTICA

En la modelación matemática, se requiere un conjunto de centros o bodegas generadoras de carga o que prestan servicios de consolidación y des

consolidación de carga existente, que se denominaran nodos N , (centros de actividad) que demandan el servicio de transporte de carga contenedorizada, igualmente se requiere dentro de ese conjunto, un subconjunto de centros de actividad $H \subseteq N$, que por sus características pueden ser utilizados como zonas de concentración para el intercambio modal (zonas de intercambio modal).

Adicionalmente, existen diferentes servicios (impo y expo) y diferentes modos de transporte.

Los diferentes centros de actividad (nodos) y sus respectivos enlaces con los hub (plataforma de intercambio modal) son susceptibles de ser identificados para facilitar los modos de transporte. Los costos unitarios de transporte dependen en forma directa del modo de transporte utilizado, se supone que los diferentes modos de transporte pueden ser utilizados solamente dentro de la red nodos, es decir, sólo para viajar entre las plataformas multimodales y los nodos generadores/receptores de carga, denominados arcos. Para las decisiones de asignación, sólo se emplea el transporte terrestre, no se tienen en cuenta restricciones de capacidad en las zonas de intercambio modal, sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos, se puede llegar a definir las capacidades para las diferentes zonas de intercambio modal. Aunque cabe destacar que el presente es un modelo de carácter estratégico (Alamur, Kara, & Karasan, 2012).

Adicionalmente, se asume en la modelación que la desigualdad triangular se satisface para los parámetros relacionados con la unidad de costos de transporte y tiempo de viaje en el mismo modo de transporte; para largos trayectos, el modelo contempla el uso del modo de transporte por ferrocarril, es decir, el modo con mayor capacidad de movilización de carga será quien asuma los trayectos más extensos.

Los costos de operación de la red multimodal serán tenidos en cuenta, al igual que los costos de operación de las plataformas de intercambio modal, en éste último aspecto, el modelo deberá permitir seleccionar la tecnología disponible para la operación de las zonas de intercambio modal.

El Gráfico 20, muestra los corredores logísticos terrestre y férreo de Bogotá a Buenaventura; en el corredor férreo, se muestra la infraestructura actual y propuesta, dentro de la cual se podrían considerar los hubs o zonas de intercambio modal potenciales, la línea punteada en gris en la ilustración correspondiente al modo de transporte férreo, corresponde a la futura extensión del corredor Bogotá – Buenaventura pasando por la Dorada y la Felisa para conectar con el corredor existente La Felisa – Buenaventura.

Gráfico 20 Corredores logísticos terrestre y férreo Bogotá - Buenaventura



Fuente: Iniciativa para la integración de la infraestructura regional suramericana.

El Gráfico 21, muestra la red de transporte intermodal objeto de estudio, donde se visualiza los nodos generadores y/o receptores de carga contenedorizada de importación o exportación, los cuales son llevados mediante transporte carretero a las zonas de intercambio modal, donde se transbordan al modo de transporte férreo, para ser transportados a una zona de intercambio modal a la cual se encuentra asociado el nodo destino. La red de transporte objeto de estudio, contempla flujos tanto internos, es decir, entre pares de nodos (origen – destino) mediados por zonas de intercambio modal, al igual que contempla flujos de carga contenedorizada de importación y/o de exportación, que salen por el puerto de Buenaventura e ingresan por el mismo puerto hacia un destino del interior.

Gráfico 21 Red de transporte intermodal Bogotá - Buenaventura



Fuente: Los autores

Supuestos del Modelo:

Los principales supuestos del modelo se relacionan a continuación. Algunas de las características del modelo siguen el modelo genérico propuesto por Alumur et al. (2014) pero otros son diferentes

- El modelo es estático en un horizonte de tiempo de un año.
- Todos los parámetros y variables de decisión en el modelo son determinísticos
- No se considera restricciones de capacidad en los Zonas de Intercambio Modal (hubs). Los resultados del modelo precisamente serían una base para definir dichas capacidades.
- Para la modelación matemática del corredor Bogotá – Buenaventura, se establece como modos de transporte carretero y ferroviario
- Los modos de transporte terrestre por carretera solamente son empleados entre los nodos y las Zonas de Intercambio Modal e igualmente entre nodos que se han asignado a una zona de intercambio modal.
- Los modos de transporte empleados entre las Zonas de Intercambio Modal (hubs) corresponden solamente al modo férreo.
- Se asume que la demanda entre nodos es conocida.
- Un nodo de demanda puede ser asignado a una única Zona de Intercambio Modal (hub).
- Sólo es posible asignar una única tecnología para cada Zona de Intercambio modal, a su vez, la tecnología debe ser común para todas las Zonas de Intercambio Modal obtenidas.
- Se consideran economías de escala en los trayectos largo para cada modo de transporte en las rutas obtenidas, las cuales se establecerán mediante factores descontados en cada caso. (Ishfaq & Sox, 2011)
- Se consideran dos hubs naturales, uno localizado en Bogotá y otro localizado en Buenaventura.

Conjuntos Principales:

Set NOD = Conjunto de nodos indexado por i, j

Set TEC = Conjunto de tecnologías para los hub indexado por t

Set HUB = Conjunto de hubs indexado por k, l ; (HUB \subseteq NOD)

Parámetros

dnh_{ik} = Distancia entre el nodo $i \in$ NOD and hub $k \in$ HUB (km)

dhh_{kl} = Distancia entre hubs $k \in$ HUB and $l \in$ HUB (km)

dhn_{lj} = Distancia entre hub $l \in$ HUB and node $j \in$ NOD (km)

hfc_{kt} = Costos Fijos de abrir y operar un hub $k \in$ HUB using technology type $t \in$ TEC (\$/year)

n = Número total de hubs a ser abiertos

rtc_{kl}	= Costo de transporte en tren entre hub $k \in HUB$ y hub $l \in HUB$ (\$/ton-km)
tca_{ik}	= Costo de transporte desde el node $i \in NOD$ a hub $k \in HUB$ (\$/ton-km)
tcb_{lj}	= Costo de transporte desde hub $l \in HUB$ to node $j \in NOD$ (\$/ton-km)
w_{ij}	= Demanda desde el nodo origen $i \in NOD$ al nodo destino $j \in NOD$ (ton/year)
α_{ik}	= Factor de descuento por economías de escala en costos de transporte entre el nodo $i \in NOD$ y el hub $k \in HUB$
β_t	= Factor de descuento por economías de escala de transporte entre hubs cuando usa tecnología $t \in TEC$
δ_{lj}	= Factor de descuento por economías de escala en costos de transporte entre hub $l \in HUB$ y el node $j \in NOD$

Variables de Decisión

Q_{kl}	= 1 si hub $k, l \in HUB$ están conectados por modo de transporte férreo; 0 de otro modo.
X_{ik}	= 1 si el $i \in NOD$ es asignado al hub $k \in HUB$; 0 de otro modo.
Y_k	= 1 si el hub $k \in HUB$ es abierto; 0 de otro modo.
Z_{ijklt}	= 1 si el nodo origen $i \in NOD$ cubre la demanda w_{ij} del nodo destino $j \in NOD$ por medio de la ruta del hub $k, l \in HUB$ el cual usa la tecnología $t \in TEC$; 0 de otro modo.
T_{kt}	= 1 si el hub $k \in HUB$ es abierto utilizando la tecnología $t \in TEC$; 0 de otro modo.

FUNCION OBJETIVO

Minimize:

$$(1) \sum_{k \in HUB} \sum_{t \in TEC} hfc_{kt} * T_{kt} +$$

$$\sum_{i \in NOD} \sum_{j \in NOD: i \neq j} \sum_{k \in HUB} \sum_{l \in HUB: k \neq l} \sum_{t \in TEC} (w_{ij} * dhh_{kl} * rtc_{kl} * betha_t * Z_{ijklt}) +$$

$$\sum_{i \in NOD} \sum_{j \in NOD: i \neq j} \sum_{k \in HUB} \sum_{l \in HUB: k \neq l} \sum_{t \in TEC} (w_{ij} * (dnh_{ik} * tca_{ik} * alpha_{ik} + dhn_{lj} * tcb_{lj} * deltha_{jl}) * Z_{ijklt})$$

Los tres términos de la función objetivo (1), representan los costos fijos de abrir y operar un hub (zona de intercambio modal), los costos de transporte entre hubs y los costos de transporte de un nodo origen a un hub y de un hub a un nodo destino, respectivamente.

Sujeto a :

$$\sum_{k \in HUB} X_{ik} = 1; \forall i \in NOD \quad (2)$$

El grupo de restricciones (2) garantiza que cada nodo sea asignado a uno y solo un hub.

$$X_{ik} \leq X_{kk}; \forall i \in NOD, k \in HUB \quad (3)$$

$$Y_k \leq X_{kk}; \forall k \in HUB \quad (4)$$

El grupo de restricciones (3) y (4), permite definir que cualquier nodo generador y/o receptor de carga puede ser Hub, esto es claro, toda vez que el conjunto de Hubs es un subconjunto del conjunto de nodos.

$$\sum_{k \in HUB} X_{kk} = n \quad (5)$$

El grupo de restricciones (5) gestiona el número de hubs que se van a abrir en cada corrida del modelo.

$$Q_{kl} \leq Y_k; \forall k, l \in HUB: k < l \quad (6)$$

$$Q_{kl} \leq Y_l; \forall k, l \in HUB: k < l \quad (7)$$

El grupo de restricciones (6) y (7) permiten establecer enlaces sólo entre hubs que estén abiertos.

$$\sum_{l \in HUB} \sum_{t \in TEC} Z_{ijklt} - \sum_{l \in HUB} \sum_{t \in TEC} Z_{ijlkt} = X_{ik} - X_{jk}; \forall i, j \in NOD: i \neq j; k \in HUB \quad (8)$$

El grupo de restricciones (8) permite la determinación de los enlaces de hubs necesarios para satisfacer la demanda entre pares de nodos origen y destino (Alumur et al., 2012).

$$Z_{ijklt} + Z_{ijlkt} \leq Q_{kl}; \forall i, j \in NOD: i \neq j; k, l \in HUB: k < l; t \in TEC \quad (9)$$

El grupo de restricciones (9) permite flujo entre hubs, solo si están conectados.

$$T_{kt} \leq Y_k; \forall k \in HUB, t \in TEC \quad (10)$$

$$\sum_{t \in TEC} T_{kt} \leq Y_k; \forall k \in HUB \quad (11)$$

$$Z_{ijklt} \leq T_{kt}; \forall i, j \in NOD: i \neq j; k, l \in HUB: k \neq l; t \in TEC \quad (12)$$

El grupo de restricciones (10) a (12), permite controlar las relaciones entre variables de tecnología y flujos de hubs abiertos.

$$Y_k = 1; \forall k \in HUB: k = "BOG" \text{ and } k = "BUE" \quad (13)$$

El hecho de que Bogotá y Buenaventura sean hubs naturales y deban abrirse siempre, está garantizado por el grupo de restricciones (13).

$$X_{ik}, Y_k \in \{0,1\}; \forall i \in NOD, k \in HUB \quad (14)$$

$$Z_{ijklt} \in \{0,1\}; \forall i, j \in NOD: i \neq j; k, l \in HUB: k \neq l; t \in TEC \quad (15)$$

$$Q_{kl} \in \{0,1\}; \forall k, l \in HUB: k < l \quad (16)$$

$$T_{kt} \in \{0,1\}; \forall k \in HUB, \forall t \in TEC \quad (17)$$

El grupo de restricciones (14) a (17) garantizan que es modelo binario.

9.2.1 Resultados del modelo

Para la obtención se corrieron varias instancias para el caso de estudio, se utilizó el lenguaje de programación de AMPL y se empleó el solver Gurobi en la plataforma de Neos Server para optimización (Czyzyk, Mesnier, & Moré, 1998; Dolan, 2001; and Gropp & Moré, 1997), con un tiempo máximo para la solución de 21 segundos.

En este caso, la red para el corredor logístico Bogotá – Buenaventura, consiste de 11 nodos origen/destino, seis hubs candidatos y tres diferentes tipos de tecnología. Dado que el modelo es abordado desde la perspectiva estratégica, los nodos corresponden a ciudades que son origen y destino, para lo cual se agregó la información disponible. Un modelo más detallado podría tener flujos entre empresas, para lo cual se requerirían más datos.

En el modelo desarrollado, se obtuvo 9991 variables binarias, 15594 restricciones. El modelo minimiza la función objetivo, tomando como referencia los costos de transporte de los nodos origen a los hub asociados o asignados, los costos de transporte entre hubs y los costos de transporte desde el hub de destino hasta el nodo destino. El coste de transporte entre nodos asignados a un mismo hub se calcula de manera independiente y se adiciona a la función objetivo óptima.

La Tabla 20 muestra los resultados alcanzados por el modelo, en la primera instancia se corre el modelo con la apertura de los hubs naturales, es decir, Bogotá y Buenaventura, los cuáles siempre se abrirán en todas las instancias que fueron corridas en el modelo.

Tabla 20 Principales resultados del modelo.

Instancia	Valor de n (Hubs)	Enlaces entre Hubs	Hubs propuestos	Asignación de nodos a Hubs	Costo de transporte entre nodos de un mismo hub (MM COP/AÑO)	Costos de operación de la red de transporte intermodal (MM COP/AÑO)	Costo Total (MM COP/AÑO)	Tecnología seleccionada	Tiempo computacional (seg)
1	2	Buenaventura - Bogotá	Buenaventura	Buenaventura, Cali, Yumbo, Buga, Zarzal, Cartago, La Tebaida, La Felisa, La Dorada Medellín	153,37	28,84	182,21	Container on flat car	5
			Bogotá	Bogota					
2	3	Buenaventura - La Dorada	Buenaventura	Buenaventura, Cali, Yumbo, Buga, Zarzal, Cartago, La Tebaida, La Felisa, Medellín	138,87	37,87	176,73	Container on flat car	21
		Buenaventura - Bogotá	La Dorada	La Dorada					
		La Dorada - Bogotá	Bogotá	Bogota					
3	4	Buenaventura - La Felisa	Buenaventura	Buenaventura, Cali, Yumbo, Buga, Zarzal, Cartago, La Tebaida, Medellín	132,53	54,00	186,53	Container on flat car	15
		Buenaventura - La Dorada							
		Buenaventura - Bogotá	La Dorada	La Dorada					
		La Felisa - La Dorada	Bogotá	Bogota					
		La Felisa - Bogotá							
La Dorada - Bogotá									
4	5	Buenaventura - Buga	Buenaventura	Buenaventura,	92,06	70,11	162,17	Container on flat car	10,0
		Buenaventura - La Felisa							
		Buenaventura - La Dorada	Buga	Cali, Yumbo, Buga, Zarzal, Cartago, La Tebaida, Medellín					
		Buenaventura - Bogotá							
		Buga - La Felisa	La Felisa	La Felisa					
		Buga - La Dorada							
		Buga - Bogotá	La Dorada	La Dorada					
		La Felisa - La Dorada							
La Felisa - Bogotá	Bogotá	Bogota							
La Dorada - Bogotá									
5	6	Buenaventura - Buga	Buenaventura	Buenaventura,	75,56	101,58	177,14	Container on flat car	15
		Buenaventura - Zarzal	Buga	Buga					
		Buenaventura - La Felisa	Zarzal	Cali, Yumbo, Cartago, La Tebaida, Medellín					
		Buenaventura - La Dorada							
		Buenaventura - Bogotá	La Felisa	La Felisa					
		Buga - Zarzal							
		Buga - La Felisa	La Dorada	La Dorada					
		Buga - La Dorada							
		Buga - Bogotá	Bogotá	Bogota					
		Zarzal - La Felisa							
		Zarzal - La Dorada							
		Zarzal - Bogotá							
		La Felisa - La Dorada	Bogotá	Bogota					
		La Felisa - Bogotá							
La Dorada - Bogotá									

Fuente: Los autores

Por tanto, en la primera instancia el modelo permite decidir principalmente la asignación de nodos a cada hub y la selección de la tecnología.

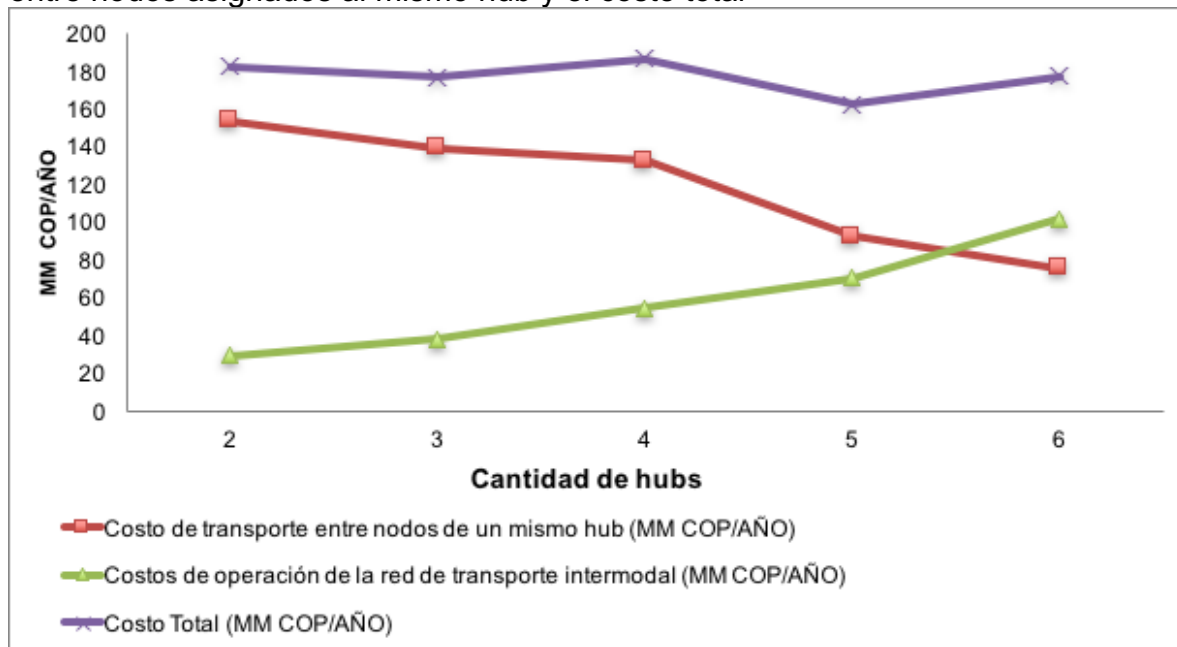
En la segunda instancia, el modelo se ejecuta con n=3, para que el modelo evalúe la apertura de un hub adicional a los hubs naturales, en este caso, el modelo

obtuvo como resultado que el hub adicional debería abrirse en La Dorada – Caldas, que podría considerarse como un resultado intuitivo.

Se corrieron luego otras instancias, con $n=4$ y $n=5$, como se aprecia en la Tabla 7. La mejor solución encontrada fue la apertura de cinco hubs, los naturales que son Bogotá y Buenaventura, con hubs adicionales en Buga, La Felisa y La Dorada. Se puede apreciar que en esta solución el valor de la función objetivo y el coste de transporte entre nodos asignados a un mismo hub son comparables.

Corriendo el modelo con $n=6$, el valor de la función objetivo es mayor que el coste de transporte entre los nodos asignados a un mismo hub, cambiando el comportamiento observado en los casos cuando se corrieron instancias con $n=2$ hasta $n=5$. Estos resultados se pueden apreciar en el Gráfico 19, indicando con ello que se pueden encontrar soluciones óptimas o casi óptimas, cuando los dos tipos de costos están estrechamente equilibrados.

Gráfico 22 Relación entre el valor objetivo de la función, el coste de transporte entre nodos asignados al mismo hub y el coste total



Fuente: Los autores.

Cabe destacar la importancia de considerar los costos de transporte entre nodos asignados a un mismo hub, pues éste se vuelve importante para el procedimiento de optimización.

Cuando se ejecuta el modelo con $n=2$, se obtiene el valor mínimo en la función objetivo, sin embargo, al considerar los costos de transporte entre nodos asignados a un mismo hub, la solución óptima cambia dramáticamente a $n=5$.

La tecnología seleccionada por el modelo fue siempre la conocida como “Container on flat car”, este tipo de tecnología parece ser la conveniente para el corredor logístico considerado.

Se hace necesario un modelado más detallado para la selección de tecnología, especialmente cuando se consideran criterios cualitativos adicionales, combinados con el análisis cuantitativo dado por el modelo. Esta tarea puede lograrse mediante una combinación de técnicas de optimización y análisis multicriterio.

9.3 DETERMINACIÓN DE CRITERIOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE ZONAS DE INTERCAMBIO MODAL EN EL CORREDOR BOGOTÁ – BUENAVENTURA

Una vez establecida la localización de las zonas de intercambio modal mediante modelo matemático, se hace necesario establecer los criterios que se deben tener en cuenta para ésta localización, en este aparte, se abordará dichos criterios de localización, a través de la utilización de técnicas multicriterio, donde se espera identificar, seleccionar y priorizar los criterios de selección a tener en cuenta; en este sentido, en este numeral se hará uso de las técnicas de Proceso Analítico Jerárquico – AHP, siguiendo la metodología propuesta en el Gráfico 23.

El alcance de esta fase del proyecto, contempla sólo la priorización de los criterios que se deben tener en cuenta para la micro localización de las zonas de intercambio modal objeto de ésta investigación, no se pretende establecer sitios de localización, toda vez que esto implicaría un mayor trabajo para la selección de sitios potenciales, aspecto que se sale de los objetivos planteados en esta investigación.

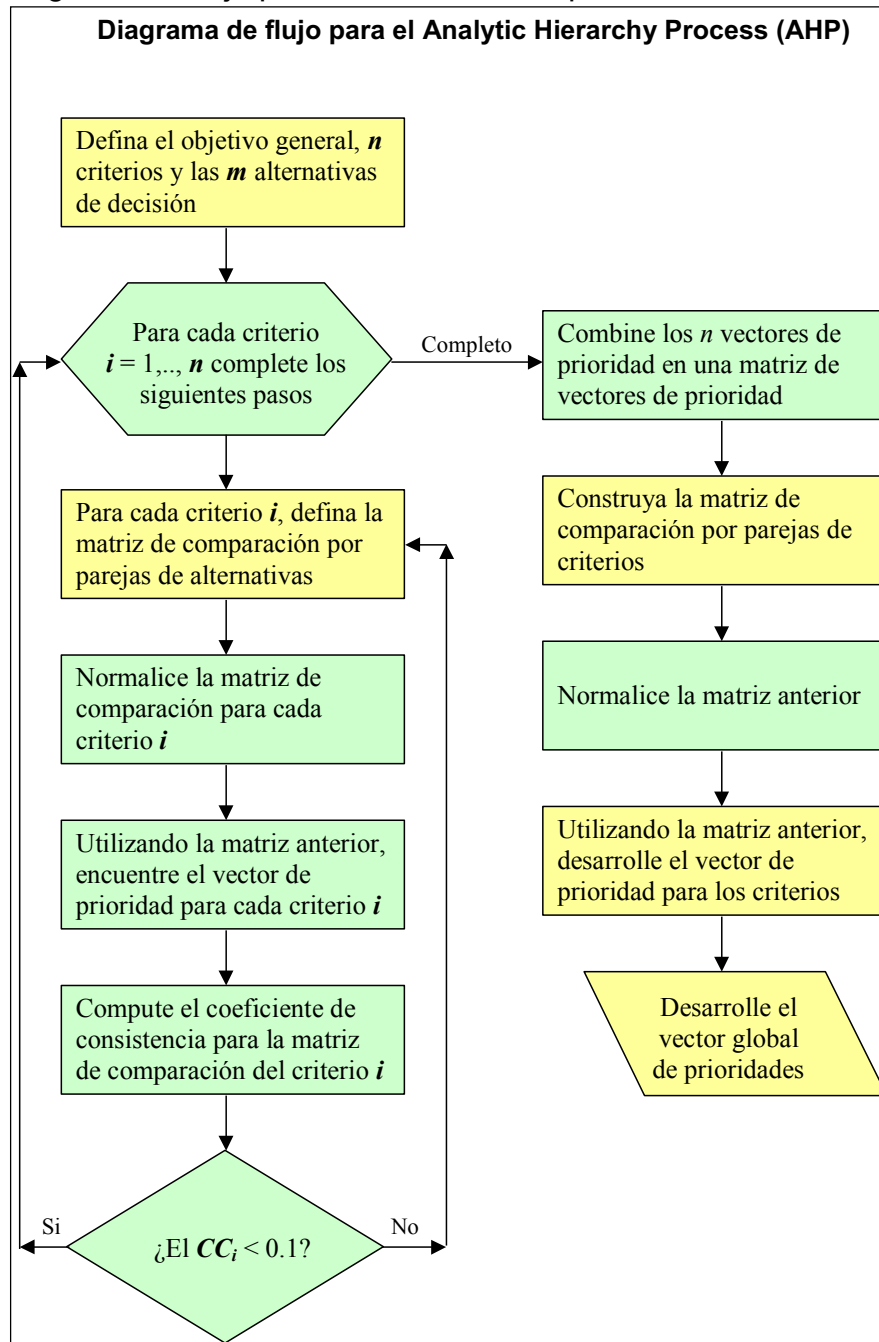
9.3.1 Aspectos Teóricos que Fundamentan el Proceso Analítico Jerárquico – AHP

El proceso analítico jerárquico, es una técnica de análisis multicriterio que ha sido bastante estudiada y sustentada en muchos trabajos de investigación orientado a la toma de decisiones, (Kubler, Robert, Derigent, Voisin, & Traon, 2016) muestran las bondades de los métodos de análisis multicriterio, destacando las múltiples aplicaciones donde las técnicas de toma de decisiones multicriterio han sido aplicados con éxito, mostrando que entre 2004 y 2016 es una de las técnicas que ha sido objeto de la producción de cerca de 190 artículos científicos en diferentes aplicaciones, donde se han establecido dos métodos a saber, toma de decisiones multiatributo, (MADM) toma de decisiones multiobjetivo, MODM.

(Vidal H., y otros, 2012) presentan en su libro una sinopsis de publicaciones científicas de la metodología en el Proceso Analítico Jerárquico, desde la aparición en 1997 en el Journal of Mathematical Psychology, dando cuenta de las diferentes aplicaciones en la toma de decisiones multiatributo. Destacan los autores las publicaciones relacionadas con la priorización alternativas, se hace importante

destacar en esta publicación, los hallazgos presentados por los autores en su revisión de cerca de 200 artículos, encontrando que la mayoría de éstos utiliza la relación beneficio/costo para priorizar o seleccionar proyectos de infraestructura. Con base en ello, los autores extienden en su trabajo la categorización de criterios que es propia del Proceso Analítico en Red, conocido como ANP.

Gráfico 23 Diagrama de flujo para el Análisis Jerárquico de Proceso - AHP



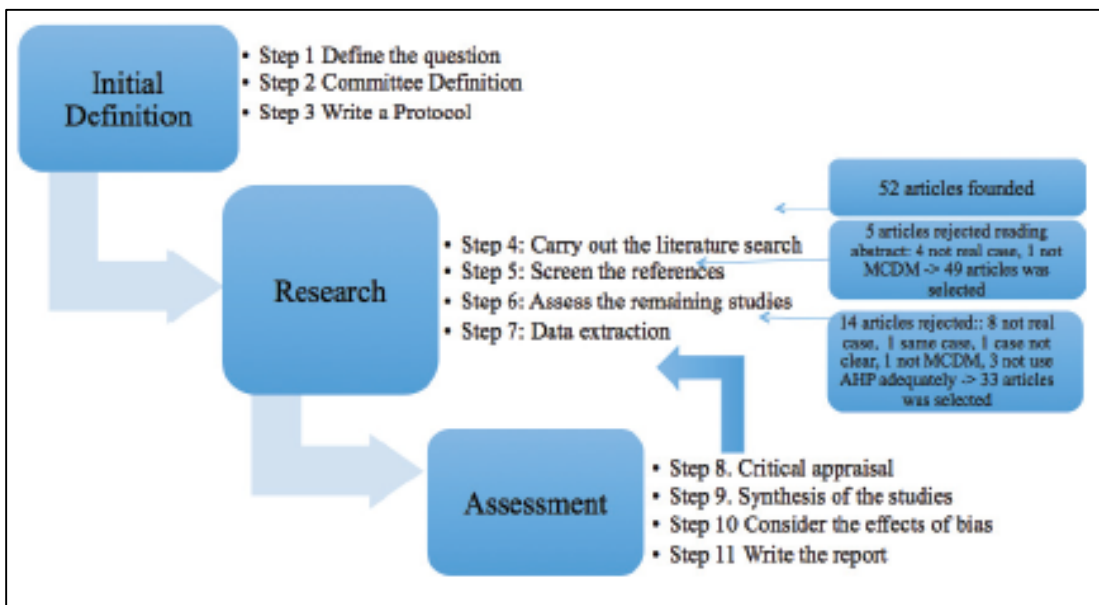
Fuente: Anderson, David R. y otros, *An Introduction to Management Science: Quantitative Approaches to Decision Making*, (Guía de Estudio), 7ª edición, West Publishing Company, Minneapolis, 1994.

(Russo & Camanho, 2015) inician planteando en su publicación que la esencia y el éxito del Proceso Analítico Jerárquico radica en la definición de los criterios y en el cálculo de los pesos específicos, plantean que muy pocos estudios se enfocan en este aspecto, en 33 de los casos seleccionados, se encontró que se utilizó la literatura para la construcción de los criterios en tanto el AHP y Fuzzy AHP fueron utilizados para calcular el peso, plantean igualmente que otras técnicas fueron utilizadas para evaluar las alternativas. Definen los autores el proceso a seguir para llevar a cabo el Proceso de Análisis Jerárquico, destacando seis pasos a seguir:

- Definir el problema y determinar el tipo de conocimiento buscado.
- Estructurar la jerarquía de decisión
- La construcción de matrices para calcular un conjunto de comparación por parejas.
- Calcular el peso relativo de los elementos a cada nivel
- Control y equilibrio de la decisión
- Documentar la decisión

El Gráfico 24, presenta una aproximación descriptiva con el objetivo de incrementar el conocimiento acerca del método AHP, haciendo claridad en como los criterios son manejados a través de éste método.

Gráfico 24 Revisión sistémica del flujo



Fuente: Tomado de (Russo & Camanho, 2015)

9.3.2 Enfoque Metodológico

De acuerdo con lo planteado en el Gráfico 25, para el desarrollo de la presente etapa en esta investigación, se abordará el enfoque metodológico planteado por (Vidal H., y otros, 2012), particularmente el Paso A, que los autores denominan priorización de criterios, para ello, se llevará a cabo la presentación de los criterios

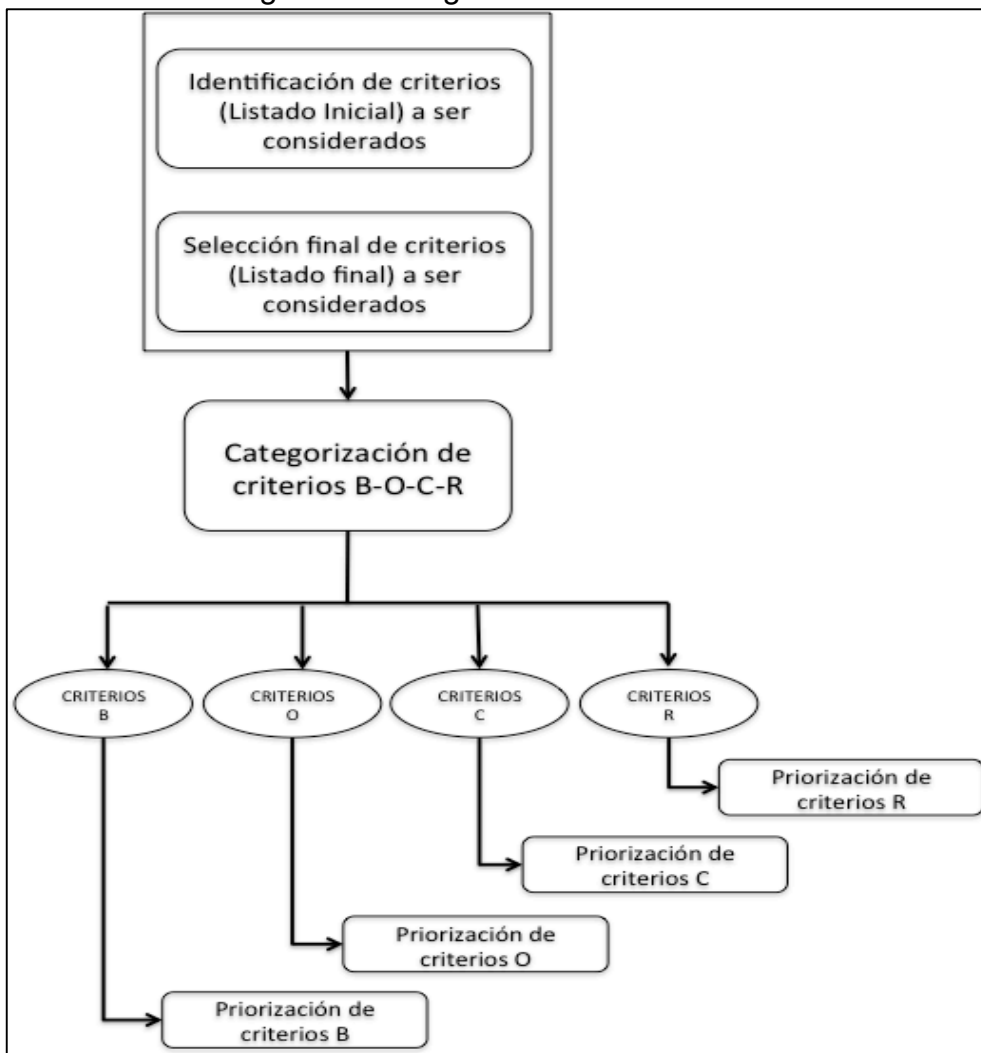
extractados de la literatura, los cuáles serán validados por el comité de expertos, una vez obtenida la validación de los criterios, se desarrolla la herramienta para obtener la evaluación de los criterios por parte de los expertos, para finalmente proceder con la priorización.

Los criterios serán agrupados en cuatro categorías, a saber:

- Criterios de Beneficios,
- Criterios de Oportunidades,
- Criterios de Costos y
- Criterios de Riesgos.

Cada criterio pertenece a sólo a una de las categorías, y en el Gráfico 25, se muestra la asignación.

Gráfico 25 Estrategia metodológica



Fuente: Extractado de (Vidal H., y otros, 2012)

La explicación de los grupos de criterios BOCR, de acuerdo con (Saaty & Vargas, 2006), cualquier decisión tiene aspectos (criterios) favorables y desfavorables que considerar. Algunos de estos aspectos tienen certeza de que aparezcan y pueden medirse con mayor facilidad, mientras que otros son más inciertos y tienen que ver más con lo que ocurrirá en el largo plazo.

Los aspectos favorables que ocurrirán con certeza son llamados Beneficios (B), mientras que los no favorables son denominados Costos (C). Respecto a los aspectos cuya ocurrencia se asocia a incertidumbre, son las Oportunidades (O) que la decisión podría crear, y los Riesgos (R) que podrían ocurrir.

9.3.2.1 Identificación y Descripción de Criterios

Para la identificación de los criterios se ha procedido en primer lugar a definir el concepto de intercambio modal en el corredor Bogotá Buenaventura y la interacción con zonas francas y el puerto, para luego desarrollar sesiones de lluvia de ideas cuyo objetivo fue la elaboración de una lista de criterios susceptibles de ser cualificados y bajo los cuales se pudiera tomar una decisión. Estos criterios hacen referencia a aspectos que se interrelacionan directa o indirectamente con la implementación de zonas de intercambio modal.

En el desarrollo del presente trabajo, se inició con una lista de 58 criterios, los cuales fueron objeto de depuración, una vez realizada la depuración, se elaboró un listado de 23 criterios a considerar para el proceso de priorización, estos criterios se relacionan más adelante. (ver Anexo 1)

En la depuración y selección de criterios se revisaron un número 38 de artículos científicos, publicados en las revistas más importantes, mencionados anteriormente sobre infraestructura, logística, conectividad y desarrollo socioeconómico.

El proceso de análisis de los artículos requirió la identificación de aspectos claves con impacto directo en la competitividad de las organizaciones y sus regiones.

Criterio 1: Importancia estratégica en la competitividad nacional (Vidal H., y otros, 2012)

Tipo de Criterio: Beneficio

Naturaleza: Político e Institucional

Descripción: Integración de proyectos, alternativas logísticas, eficiencia en medios de transporte y administración de puertos, cumplimiento a planes de competitividad buscando mejorar la calidad de vida.

Tipo de variable: Cualitativa

Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 2: Concentración de los nodos generadores de carga (Localización de cadenas productivas) (Vidal H., y otros, 2012)

Tipo de Criterio: Beneficio

Naturaleza: Logística

Descripción: Proximidad a posiciones geográficas de industria y comercio que integren los generadores y receptores en el Corredor Bogotá Buenaventura.

Tipo de variable: Cualitativa

Escala: Por distancia, para ello se establecerán rango de distancias en cinco categorías, desde la más lejana, hasta la más cercana, para lo cual, se tomarán los límites inferiores y superiores, la mínima y la máxima respectivamente. Con la diferencia entre estos límites, se obtienen los límites intermedios, haciendo una distribución normal para obtener una marca de clase para cada rango.

Criterio 3: Grado de articulación de corredores y plataformas logísticas (Alam, 2013)

Tipo de Criterio: Beneficio

Naturaleza: Logística

Descripción: Infraestructura existente de corredores viales, zonas francas y almacenes de depósito en el corredor Bogotá Buenaventura.

Tipo de variable: Cualitativa

Escala: Por distancia, establecer las categorías, se adopta la misma metodología propuesta para el criterio dos.

Criterio 4: Impacto en la reducción de accidentalidad (Abd El-Karim, El Nawawy, & Abdel-Alim, 2015)

Tipo de Criterio: Beneficio

Naturaleza: Social

Descripción: El efecto directo sobre la reducción de tráfico carretable y la consolidación en sistema multimodales, así como plataformas logísticas, bajan la probabilidad de accidentes en carretera y en zonas urbanas del corredor.

Tipo de variable: Cualitativo

Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 5: Impacto en la reducción de la congestión por la optimización del parque automotor de carga, en el corredor objeto de estudio.

Tipo de Criterio: Beneficio

Naturaleza: Logística

Descripción: El enfoque en estructuración logística de orígenes y destinos para aspectos físicos y funcionales, como la infraestructura que articulación el desarrollo clúster en las regiones.

Tipo de variable: Cualitativa

Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 6: Viabilidad técnica para el desarrollo

Tipo de Criterio: Beneficio

Naturaleza: Económico

Descripción: Existencia de proyectos que articulan e integran infraestructuras logísticas en el corredor, tecnologías aplicables, equipos, especialización del personal, maquinaria, métodos relacionados y el presupuesto asignado en cada una de las regiones que impacta el corredor.

Tipo de variable: Cualitativa
Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 7: Reducción de costos en mantenimiento de carreteras

Tipo de Criterio: Beneficio
Naturaleza: Económica
Descripción: Grado de impacto sobre la utilización de la infraestructura en el corredor.
Tipo de variable: cualitativa
Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 8: Generación de puestos laborales

Tipo de Criterio: Beneficio
Naturaleza: Social
Descripción: Grado de impacto en generación de empleo en áreas del corredor por los intercambios logísticos en los sistemas multimodales.
Tipo de variable: cualitativa
Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 9: Reducción de costos globales de transporte

Tipo de Criterio: Beneficio
Naturaleza: Económica
Descripción: Impacto sobre los costos de consolidación multimodal, intercambio comercial. Costos y gastos asociados a devolución de contenedores, ingreso a zonas francas y puertos, así como los costos en las operaciones de importación y exportación.
Tipo de variable: cualitativa
Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 10: Valor de inversiones

Tipo de Criterio: Costo
Naturaleza: Económico
Descripción: Viabilidad financiera, disponibilidad de recursos estatales e inversión privada, validación de riesgos y proyección de retorno sobre la inversión.
Tipo de variable: cualitativa
Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 11: Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y cambio en el uso de energéticos

Tipo de Criterio: Costo
Naturaleza: Ambiental
Descripción: Impacto ambiental como efecto de la utilización de sistemas multimodales, afectación sobre los recursos naturales.
Tipo de variable: cualitativa Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 12: Generación de economías de escala

Tipo de Criterio: Costo

Naturaleza: Económico

Descripción: Integración de modos de transporte multimodal que permitan la consolidación de cargas en los nodos logísticos del corredor.

Tipo de variable: cualitativa

Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 13: Oportunidad y capacidad de almacenamiento en las plataformas de transferencia

Tipo de Criterio: Oportunidad

Naturaleza: Logística

Descripción: Se refiere a las posibilidades de asentamientos logísticos más cercanos al interés intermodal, para la creación de nodos de transferencia de carga, que permita integrar tanto a los generadores como a importadores o exportadores que requieren de almacenamiento temporal de contenedores y cargas.

Tipo de variable: cualitativa

Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 14: Disponibilidad y acceso de TIC's

Tipo de Criterio: Oportunidad

Naturaleza: Político e Institucional

Descripción: Articular tecnologías de comunicación para servicio de usuarios, transportadores y puertos.

Tipo de variable: cualitativa

Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 15: Aumento competitividad logística para la región

Tipo de Criterio: Oportunidad

Naturaleza: Logístico

Descripción: Se refiere a las oportunidades logísticas multimodales para bajar costos operativos de transporte e integración de la logística entre generadores de carga, puertos y receptores de bienes y servicios.

Tipo de variable: cualitativa

Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 16: Comodidad y conveniencia del usuario tranza con un solo porteador en el transporte Intermodal.

Tipo de Criterio: Oportunidad

Naturaleza: Logístico

Descripción: Se refiere a las condiciones económicas de eficiencia y eficacia en la integración modal.

Tipo de variable: cualitativa

Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 17: Voluntad e interés político

Tipo de Criterio: Oportunidad

Naturaleza: Político e Institucional

Descripción: El impacto sobre las comunidades, las afectaciones del proyecto en los intereses de la comunidad y los municipios. Nivel de vinculación gubernamental y estamentos sociales.

Tipo de variable: cualitativa

Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 18: Compromiso de grupos de interés

Tipo de Criterio: Oportunidad

Naturaleza: Político e Institucional

Descripción: Compromiso gremial o sectorial, interés de clúster en el corredor, actores sociales interesados que apoyan e impulsan desarrollos logísticos y proyectos.

Tipo de variable: cualitativa

Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 19: Control del contrabando y actividades ilícitas

Tipo de Criterio: Riesgo

Naturaleza: Político e Institucional

Descripción: Estructuración de seguridad del corredor, panorama de riesgos en las regiones del corredor y estudio de seguridad física que afectan el plan de ejecución de los proyectos.

Tipo de variable: cualitativa

Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 20: Estabilidad política

Tipo de Criterio: Riesgo

Naturaleza: Político e Institucional

Descripción: condiciones de generación de confianza jurídica para inversionista, garantizando la ejecución del proyecto, y estabilidad en las condiciones.

Tipo de variable: cualitativa Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 21: Estabilidad Social o/y desarrollo social

Tipo de Criterio: Riesgo

Naturaleza: Político e Institucional

Descripción: Retribución del proyecto en la generación de valor para las comunidades, beneficios esperados en las regiones, impactos del proyecto en vías de acceso, educación, tecnología y generación de trabajo, así como generar condiciones de confianza y seguridad social en la comunidad.

Tipo de variable: cualitativa Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 22: Desarrollo económico sustentable y sostenible.

Tipo de Criterio: Riesgo

Naturaleza: Político e Institucional

Descripción: Los proyectos de zonas de intercambio modal deben ser rentables generadoras de beneficios y de valor, con capacidad de ser económicamente viables en el tiempo.

Tipo de variable: Cualitativa

Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

Criterio 23: Uso de Suelo

Tipo de Criterio: Riesgo

Naturaleza: Político e Institucional

Descripción: La legislación sobre el uso del suelo, la titularidad del mismo y las condiciones de localización, así como las geológicas (suelo urbano y suelo rural), inciden en el precio final del mismo y en las posibilidades de desarrollo y dimensionamiento de la Plataforma Logística.

Tipo de variable: Cualitativa

Escala: muy alta, alta, media, baja, muy baja

9.3.2.2 Validación del criterio

Una vez definido los criterios, se procedió con la validación de los mismos, para ello, se hizo una revisión para identificar los grupos de interés y hacer una selección de posibles expertos que además de validar los criterios, permitiera hacer la priorización en una segunda instancia.

Esta selección de expertos quedó compuesta por:

- Sector académico
 - Universidad ICESI – Andrés López Astudillo
 - Universidad Nacional – Asesor en plan maestro logístico – Wilson Adarme
- Gremios
 - ANDI – Pablo German Parra
 - Cámara Colombiana de infraestructura Nacional – Carlos Rentería
 - Cámara Colombiana de Infraestructura Regional. – Ana Luz Piamba.
- Sector Transporte
 - Servientrega – Ángelo Germano
- Usuarios del corredor
 - Almacenamiento – Alpopular – Norberto Ordoñez
- Comercio Exterior
 - Blu logistics – Jorge Cardona
- Ministerio de Transporte
 - Asesor Edgardo Sánchez

El ejercicio de validación se llevó a cabo, preguntando acerca de la validez de cada criterio y permitiendo sugerir nuevos criterios, la respuesta que debía emitir

el experto era SI, si consideraba que el criterio tiene validez para llevar a cabo el proceso de análisis jerárquico o NO en caso contrario.

En este ejercicio, se obtuvo respuesta de 8 de 12 expertos, obteniendo además dos nuevos criterios.

Con estos nuevos criterios, se procedió a fusionar criterios por similitud, quedando un listado de 17 criterios catalogados por Beneficio, Oportunidad, Costo y Riesgo, como se muestra en la Tabla 21

Tabla 21 Criterios por categoría B – Beneficio, O – Oportunidad, C – Costo, R - Riesgo

1	Impacto en la reducción de la congestión por la optimización del parque automotor de carga en el corredor Bogotá-Buenaventura	B	5	Impacto en la reducción de accidentalidad	O
2	Viabilidad técnica para el desarrollo de plataformas de intercambio modal	B	6	Oportunidad y capacidad de almacenamiento en las plataformas de transferencia	O
3	Reducción de costos de mantenimiento de carreteras del corredor Bogotá Buenaventura	B	7	Disponibilidad y acceso de TIC's y ERP's	O
4	Concentración de los nodos generadores de carga y articulación con el corredor logístico y las plataformas logísticas	B	8	Estabilidad y compromiso político y de los agentes logísticos nacionales e internacionales	O
			9	Estabilidad Social o/y desarrollo social a través de la generación de puestos laborales	O
10	Generación de economías de escala y reducción de costos globales de transporte	C	14	Incremento de estándares de calidad y certificaciones voluntarias para la reducción de actividades ilícitas y control al contrabando	R
11	Valor de inversiones en infraestructura que facilite el intercambio modal	C	15	Desarrollo económico sustentable, sostenible amigable con el medio ambiente	R
12	Importancia estratégica y aumento en la competitividad logística nacional e internacional	C	16	Uso del suelo	R
13	Comodidad y conveniencia al usuario al tratar con un solo porteador en el transporte Intermodal.	C	17	Estabilidad de taludes y riesgo sísmico e inundaciones para construcción de infraestructura logística intermodal en el corredor Bogotá-Buenaventura	R

Fuente: Los autores

9.3.2.3 Priorización de criterios

Una vez fusionado los criterios y categorizados por Beneficio, Oportunidad, Costo y Riesgo, se procedió con la priorización de los mismos, para ello, se desarrolló una herramienta en formularios de google, que permitiera a los expertos seleccionar en una escala de grados de preferencia, cuan preferido es un criterio con respecto al otro, (ver Tabla 22)

Tabla 22 Preferencia y grado de preferencias entre pares de criterios

Preferencia entre criterios	Grado de preferencia
El criterio A es Igual de importante que el criterio B	1
El criterio A es ligeramente más importante que el criterio B	3
El criterio B es ligeramente más importante que el criterio A	1/3
El criterio A es mucho más importante que el criterio B	5
El criterio B es mucho más importante que el criterio A	1/5
El criterio A es fuertemente más importante que el criterio B	7
El criterio B es fuertemente más importante que el criterio A	1/7
El criterio A es extremadamente más importante que el criterio B	9
El criterio B es extremadamente más importante que el criterio A	1/9

Fuente: Los autores con base en escala Saaty 2004

La herramienta desarrollada, se denominó “ENCUESTA PARA LA LOCALIZACIÓN DE ZONAS DE INTERCAMBIO MODAL”, la cual busca obtener información preliminar del experto, Gráfico 26, muestra el encabezado de la herramienta de captura de información

Gráfico 26 Herramienta para la captura de información de expertos

The image shows a digital survey form with the following content:

- ENCUESTA PARA LA LOCALIZACIÓN DE ZONAS DE INTERCAMBIO MODAL**
- Herramienta para obtener la valoración de los criterios para la selección de zonas de intercambio modal, en el corredor logístico Bogotá - Buenaventura
- *Obligatorio
- Dirección de correo electrónico ***
- Tu dirección de correo electrónico
- Universidad del Valle - Maestría en Ingeniería**
- Objetivo: Evaluar cada par de criterios, comparando de acuerdo con el grado de importancia de un criterio respecto al otro
- Nombre completo del experto ***
- Tu respuesta
- Empresa o Institución ***
- Tu respuesta

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la información del experto, se procede con la captura de la información correspondiente a las preferencias entre pares de criterio, en primer lugar, se estableció la preferencia entre las categorías de criterios, como se aprecia en el Gráfico 27.

Gráfico 27 Captura de grados de preferencia entre categorías de criterios.

EVALUACIÓN DE CATEGORÍAS DE CRITERIOS

Con el propósito de establecer una ponderación, se han definido cuatro categorías de criterios, Criterios de Beneficio, Criterios de Oportunidad, Criterios de Costo y Criterios de Riesgo, el objetivo es establecer la dominancia de prioridad entre pares de grupos

A. Criterios de Beneficio B. Criterios de Oportunidad
Elige ▼

a. Criterios de Beneficio c. Criterios de Costo
Elige ▼

A. Criterios de Beneficio D. Criterios de Riesgo
Elige ▼

B. Criterios de Oportunidad C. Criterios de Costo
Elige ▼

B. Criterios de Oportunidad D. Criterios de Riesgo
Elige ▼

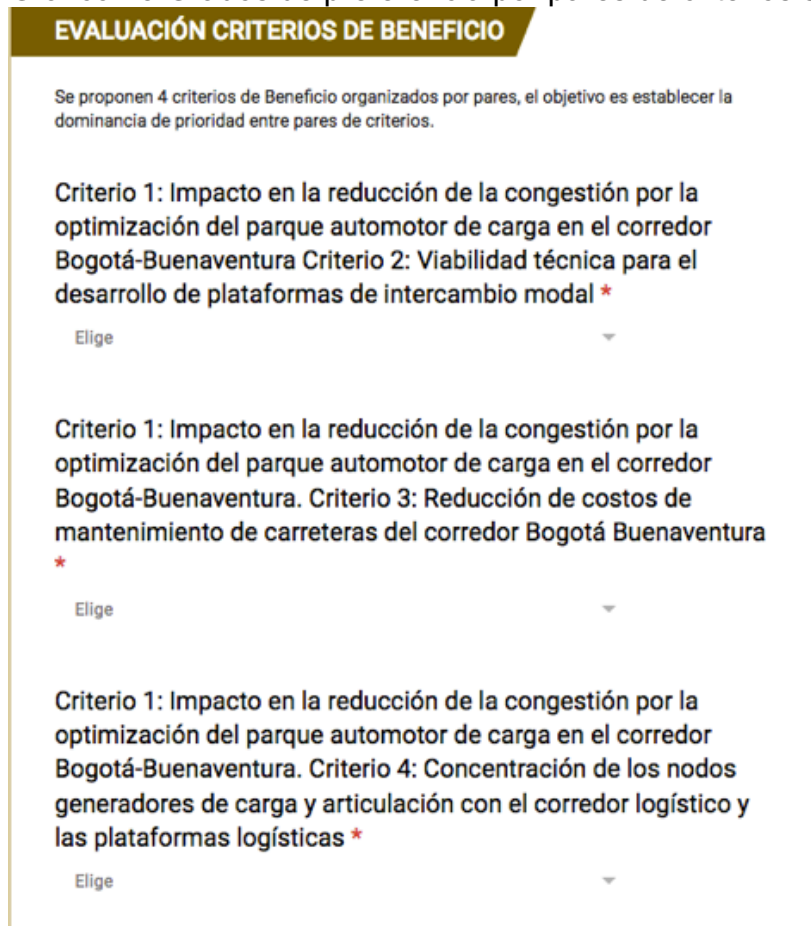
C. Criterios de Costo D. Criterios de Riesgo

Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo se procedió con la obtención de las preferencias entre criterios por categoría, como se aprecia en el Gráfico 28. De igual manera se llevó a cabo para cada una de las categorías de criterios.

Con la información alcanzada de los expertos, se procedió con la propuesta metodológica planteada en Saaty 1977, consolidando la información de los expertos mediante la media geométrica, con base en el número de expertos que acompañó la segunda fase de recolección de información. Cabe destacar, que, en la segunda fase de recolección de información, sólo se logró la participación de seis de los doce expertos a los cuales se les envió la solicitud de vinculación al proyecto de manera formal.

Gráfico 28 Grados de preferencia por pares de criterios según categoría



Fuente: Elaboración propia.

9.3.3 Ponderación y priorización de criterios

De acuerdo con la metodología propuesta, se obtuvo la ponderación y priorización de los criterios, en primera instancia se muestra la priorización según las categorías, la Tabla 23, muestra el consolidado a través de la media geométrica con base en el número de expertos, se aprecia en ella que el criterio oportunidad tiene mayor puntuación en la columna correspondiente, seguido por el criterio costos, el criterio riesgo y por último el criterios beneficios. Una vez obtenido la tabla, se procedió con la normalización de los criterios por categoría, obedeciendo los resultados en la Tabla 24.

De igual forma se procedió por cada categoría de criterios, la Tabla 25, muestra la priorización de los criterios de beneficio, en tanto la Tabla 26, muestra la tabla normalizada y el vector prioridad ponderado de los criterios de beneficio.

Tabla 23 Priorización por categoría de criterios

	BENEFICIO	OPORTUNIDAD	COSTO	RIESGO
BENEFICIO	1,00	1,42	1,30	2,02
OPORTUNIDAD	0,70	1,00	0,58	0,38
COSTO	0,77	1,72	1,00	0,68
RIESGO	0,50	2,66	1,47	1,00
Sumatorias	2,97	6,80	4,36	4,07

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24 Normalización de criterios por categorías de criterios.

	BENEFICIO	OPORTUNIDAD	COSTO	RIESGO	VECTOR PRIORIDAD
BENEFICIO	0,34	0,21	0,30	0,50	0,34
OPORTUNIDAD	0,24	0,15	0,13	0,09	0,15
COSTO	0,26	0,25	0,23	0,17	0,23
RIESGO	0,17	0,39	0,34	0,25	0,29

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 27, muestra la priorización consolidada de los criterios de oportunidad y la Tabla 28, permite apreciar la normalización y definición de los criterios oportunidad priorizados y ponderados, generando con ello el vector prioridad para esta categoría.

De igual manera, la Tabla 29, muestra el consolidado de priorización de los criterios de costo, que, al ser normalizada, se obtiene la Tabla 30, que muestra los criterios de costo priorizados y ponderados y la obtención del vector prioridad por la categoría costos.

En el mismo modo, la Tabla 31 y la Tabla 32, muestran la respectiva consolidación y priorización de los criterios de riesgo, al igual que la normalización y obtención del vector prioridad para los criterios de riesgo, respectivamente.

Tabla 25 Priorización de los criterios de Beneficio

CRITERIOS DE BENEFICIO	Impacto en la reducción de la congestión por la optimización del parque automotor de carga en el	Viabilidad técnica para el desarrollo de plataformas de intercambio modal	Reducción de costos de mantenimiento de carreteras del corredor Bogotá Buenaventura	Concentración de los nodos generadores de carga y articulación con el corredor logístico y las
Impacto en la reducción de la congestión por la optimización del parque automotor de carga en el corredor Bogotá-Buenaventura	1,00	0,70	2,73	0,44
Viabilidad técnica para el desarrollo de plataformas de intercambio modal	1,44	1,00	2,22	0,96
Reducción de costos de mantenimiento de carreteras del corredor Bogotá Buenaventura	0,37	0,45	1,00	0,47
Concentración de los nodos generadores de carga y articulación con el corredor logístico y las plataformas logísticas	2,27	1,04	2,11	1,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 Normalización y vector prioridad de criterios de Beneficio

CRITERIOS DE BENEFICIO	Impacto en la reducción de la congestión por la optimización del parque automotor de carga en el corredor Bogotá-Buenaventura	Viabilidad técnica para el desarrollo de plataformas de intercambio modal	Reducción de costos de mantenimiento de carreteras del corredor Bogotá Buenaventura	Concentración de los nodos generadores de carga y articulación con el corredor logístico y las plataformas logísticas	VECTOR PRIORIDAD
Impacto en la reducción de la congestión por la optimización del parque automotor de carga en el	0,20	0,22	0,34	0,15	0,23
Viabilidad técnica para el desarrollo de plataformas de	0,28	0,31	0,27	0,34	0,30
Reducción de costos de mantenimiento de carreteras del corredor Bogotá	0,07	0,14	0,12	0,16	0,13
Concentración de los nodos generadores de carga y articulación con el corredor logístico y las	0,45	0,33	0,26	0,35	0,35

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 Priorización de los criterios de oportunidad

CRITERIOS DE OPORTUNIDAD	Impacto en la reducción de accidentalidad	Oportunidad y capacidad de almacenamiento en las plataformas de	Disponibilidad y acceso de TIC's y ERP's	Estabilidad y compromiso político y de los agentes logísticos	Estabilidad Social o/y desarrollo social a través de la generación de puestos laborales
Impacto en la reducción de accidentalidad	1,00	1,60	0,76	1,03	1,21
Oportunidad y capacidad de almacenamiento en las plataformas de transferencia	0,62	1,00	0,26	2,17	1,30
Disponibilidad y acceso de TIC's y ERP's	1,32	3,78	1,00	2,76	0,96
Estabilidad y compromiso político y de los agentes logísticos nacionales e internacionales	0,98	0,46	0,36	1,00	1,35
Estabilidad Social o/y desarrollo social a través de la generación de puestos laborales	0,82	0,77	1,04	0,74	1,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 Normalización y vector prioridad de criterios de oportunidad

CRITERIOS DE OPORTUNIDAD	Impacto en la reducción de accidentalidad	Oportunidad y capacidad de almacenamiento en las plataformas de transferencia	Disponibilidad y acceso de TIC's y ERP's	Estabilidad y compromiso político y de los agentes logísticos nacionales e internacionales	Estabilidad Social o/y desarrollo social a través de la generación de puestos laborales	VECTOR PRIORIDAD
Impacto en la reducción de accidentalidad	0,21	0,21	0,22	0,13	0,21	0,20
Oportunidad y capacidad de almacenamiento en las plataformas de	0,13	0,13	0,08	0,28	0,22	0,17
Disponibilidad y acceso de TIC's y ERP's	0,28	0,50	0,29	0,36	0,17	0,32
Estabilidad y compromiso político y de los agentes logísticos	0,21	0,06	0,11	0,13	0,23	0,15
Estabilidad Social o/y desarrollo social a través de la generación de	0,17	0,10	0,30	0,10	0,17	0,17

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29 Priorización de los criterios de costo

CRITERIO DE COSTO	Reducción de costos de mantenimiento de carreteras del corredor Bogotá-Buenaventura	Valor de inversiones en infraestructura que facilite el intercambio modal	Importancia estratégica y aumento en la competitividad logística nacional e internacional	Comodidad y conveniencia al usuario al tratar con un solo porteador en el transporte
Reducción de costos de mantenimiento de carreteras del corredor Bogotá-Buenaventura	1,00	0,57	0,53	1,49
Valor de inversiones en infraestructura que facilite el intercambio modal	1,74	1,00	0,73	2,17
Importancia estratégica y aumento en la competitividad logística nacional e internacional	1,87	1,37	1,00	1,68
Comodidad y conveniencia al usuario al tratar con un solo porteador en el transporte Intermodal.	0,67	0,46	0,60	1,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30 Normalización y vector prioridad de los criterios de costo

CRITERIO DE COSTO	Reducción de costos de mantenimiento de carreteras del corredor Bogotá-Buenaventura	Valor de inversiones en infraestructura que facilite el intercambio modal	Importancia estratégica y aumento en la competitividad logística nacional e	Comodidad y conveniencia al usuario al tratar con un solo porteador en el transporte	VECTOR PRIORIDAD
Reducción de costos de mantenimiento de carreteras del corredor Bogotá-Buenaventura	0,19	0,17	0,19	0,24	0,19
Valor de inversiones en infraestructura que facilite el	0,33	0,29	0,26	0,34	0,31
Importancia estratégica y aumento en la competitividad logística	0,35	0,40	0,35	0,27	0,34
Comodidad y conveniencia al usuario al tratar con un solo porteador en el transporte	0,13	0,14	0,21	0,16	0,16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31 Priorización de los criterios de riesgo

CRITERIO DE RIESGO	Incremento de estándares de calidad y certificaciones voluntarias para la reducción de actividades ilícitas y control al	Desarrollo económico sustentable, sostenible amigable con el medio ambiente	Uso del suelo	Estabilidad de taludes y riesgo sísmico e inundaciones para construcción de infraestructura logística
Incremento de estándares de calidad y certificaciones voluntarias para la reducción de actividades ilícitas y control al contrabando	1,00	0,65	0,76	0,35
Desarrollo económico sustentable, sostenible amigable con el medio ambiente	1,54	1,00	2,36	0,96
Uso del suelo	1,32	0,42	1,00	0,85
Estabilidad de taludes y riesgo sísmico e inundaciones para construcción de infraestructura logística intermodal en el corredor Bogotá-Buenaventura	2,86	1,04	1,17	1,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32 Normalización y vector prioridad de criterios de riesgo

CRITERIO DE RIESGO	Incremento de estándares de calidad y certificaciones voluntarias para la reducción de actividades ilícitas y control	Desarrollo económico sustentable, sostenible amigable con el medio ambiente	Uso del suelo	Estabilidad de taludes y riesgo sísmico e inundaciones para construcción de infraestructura logística	VECTOR PRIORIDAD
Incremento de estándares de calidad y certificaciones voluntarias para la reducción de actividades ilícitas y control al contrabando	0,15	0,21	0,14	0,11	0,15
Desarrollo económico sustentable, sostenible amigable con el	0,23	0,32	0,45	0,30	0,33
Uso del suelo	0,20	0,14	0,19	0,27	0,20
Estabilidad de taludes y riesgo sísmico e inundaciones para construcción de infraestructura logística	0,43	0,33	0,22	0,32	0,32

Fuente: Elaboración propia

Con base en las tablas obtenidas, se procede con la determinación del coeficiente de consistencia para la priorización realizada por tipo de categoría y por categoría,

de acuerdo con lo propuesto en la metodología Saaty 1977, para ello, para lo cual se calcula el siguiente indicador.

$$C.C = \frac{\frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}}{IA}$$

Donde:

C.C.= Coeficiente de consistencia

λ_{max} = Máximo valor propio de la matriz de comparación, el cual se obtiene como el producto del vector suma de columnas con el vector prioridad que se obtiene de la normalización de la matriz de comparación de criterios.

n = número de elementos a comparar (4 para matriz de categorías, 4 criterios de beneficio, 5 criterios de oportunidad y 4 para criterios de costo y riesgo respectivamente)

I.A. Índice aleatorio, el cual tiene un valor asociado a cada valor de n. En la Tabla 33 se muestran algunos de estos valores.

Tabla 33 Índice aleatorio para el cálculo de coeficiente de consistencia.

<i>Número de elementos a comparar</i>	<i>Índice Aleatorio IA</i>
3	0,58
4	0,9
5	1,12
6	1,24
7	1,32

Fuente: Saaty (1977)

Se obtuvo los correspondientes coeficientes de consistencia, como se aprecia en la Tabla 34, ninguno sobrepasa el límite superior definido por la literatura científica.

Tabla 34 Coeficientes de consistencia por categorías y criterios

<i>COEFICIENTES DE CONSISTENCIA</i>				
		<i>n</i>	<i>I.A</i>	<i>C.C</i>
<i>CATEGORÍA DE CRITERIOS</i>	4,182	4	0,9	0,07
<i>CRITERIOS DE BENEFICIO</i>	4,119	4	0,9	0,04
<i>CRITERIOS DE OPORTUNIDAD</i>	5,425	5	1,12	0,09
<i>CRITERIOS DE COSTO</i>	4,045	4	0,9	0,02
<i>CRTERIOS DE RIESGO</i>	4,111	4	0,9	0,04

Fuente: Elaboración propia.

Con base en lo anterior, se obtiene la ponderación por criterio, (ver Tabla 35), para la selección de zonas de intercambio modal, es decir, se obtuvo el vector ponderación de criterios para adelantar el proceso de selección de zonas de intercambio modal, dejando con esto una herramienta validada por expertos que se encuentran vinculados al sector logístico colombiano.

Tabla 35 Vectores ponderación de criterios para la selección de zonas de intercambio modal.

<i>Criterios Beneficio</i>		<i>Criterios de Oportunidad</i>	
Impacto en la reducción de la congestión por la optimización del parque automotor de carga en el corredor Bogotá-Buenaventura	7,60%	Impacto en la reducción de accidentalidad	3,00%
Viabilidad técnica para el desarrollo de plataformas de intercambio modal	10,11%	Oportunidad y capacidad de almacenamiento en las plataformas de transferencia	2,58%
Reducción de costos de mantenimiento de carreteras del corredor Bogotá Buenaventura	4,21%	Disponibilidad y acceso de TIC's y ERP's	4,85%
Concentración de los nodos generadores de carga y articulación con el corredor logístico y las plataformas logísticas	11,59%	Estabilidad y compromiso político y de los agentes logísticos nacionales e internacionales	2,24%
		Estabilidad Social o/y desarrollo social a través de la generación de puestos laborales	2,58%
PONDERACIÓN POR CATEGORÍA	33,51%	PONDERACIÓN POR CATEGORÍA	15,25%
<i>Criterios de costo</i>		<i>Criterios de Riesgo</i>	
Reducción de costos de mantenimiento de carreteras del corredor Bogotá-Buenaventura	4,42%	Incremento de estándares de calidad y certificaciones voluntarias para la reducción de actividades ilícitas y control al contrabando	4,36%
Valor de inversiones en infraestructura que facilite el intercambio modal	6,93%	Desarrollo económico sustentable, sostenible amigable con el medio ambiente	9,29%
Importancia estratégica y aumento en la competitividad logística nacional e internacional	7,78%	Uso del suelo	5,65%
Comodidad y conveniencia al usuario al tratar con un solo porteador en el transporte Intermodal.	3,57%	Estabilidad de taludes y riesgo sísmico e inundaciones para construcción de infraestructura logística intermodal en el corredor Bogotá-Buenaventura	9,25%
PONDERACIÓN POR CATEGORÍA	22,70%	PONDERACIÓN POR CATEGORÍA	28,55%

Fuente: Elaboración propia.

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El presente proyecto se abordó como un problema de localización de hub (Hub location problem), buscando dar solución a los problemas logísticos que se presentan, en particular, para el caso de Colombia, la literatura encontrada permite plantear soluciones desde la perspectiva estratégica, buscando minimizar los costos totales de transporte, apuntando dar soluciones que ubiquen al país en una órbita de competitividad logística mundial.

El modelamiento matemático como herramienta para la toma de decisiones, permite abordar soluciones cercanas al óptimo o soluciones óptimas que procuran generar competitividad en un mercado globalizado, donde los costos logísticos son los más representativos en el comercio internacional.

El modelo planteado en el presente trabajo de investigación, se convierte en una herramienta para la toma de decisiones, que permita planificar desde la perspectiva estratégica la configuración de una red de transporte intermodal para el corredor Bogotá – Buenaventura.

Se puede apreciar que el país cuenta con una infraestructura que responde en cierta medida a las exigencias logísticas del país, en particular, la ciudad puerto de Buenaventura cuenta con un número importante de terminales y muelles portuarios y en el corto plazo se tiene previsto la construcción y puesta en funcionamiento de Puerto Solo, que será multipropósito, con capacidad para manejar hidrocarburos, líquidos y etanol, terminal de gas propano, butano y natural.

La herramienta muestra que teniendo como referencia dos zonas de intercambio modal naturales como Bogotá y Buenaventura, el modelo establece que la mejor configuración es aquella donde se instalan tres zonas de intercambio modal adicionales, garantizando con ello una reducción significativa en los costos de transporte, además de procurar una complementariedad entre diferentes modos de transporte (férreo y carretero).

Si bien es cierto, los resultados de la modelación matemática permitieron obtener una propuesta de una red con 5 zonas de intercambio modal, se debe resaltar que para ello se corrieron varias instancias, hasta que se obtuvo el resultado propuesto en el presente estudio.

El modelo final obtenido, toma como referencia el propuesto por (Alamur, Kara, & Karasan, 2012), sin embargo, se incorpora 2 aspectos adicionales, uno está

relacionado con permitir que el modelo sugiera la alternativa tecnológica que se debe implementar en cada zona de intercambio modal y por otro lado, se adiciona un algoritmo que permite establecer los costos de transporte entre nodos que pertenecen o están asociados a una zona de intercambio modal, pues se debe destacar que el modelado está orientado a que las mayores distancias en el transporte de carga contenedorizada se hagan en el modo de transporte más eficiente, es decir, el férreo.

El resultado obtenido de ésta investigación, deberá servir de herramienta, para que desde lo estratégico se puedan definir políticas donde los diferentes modos de transporte confluyan como un verdadero sistema de transporte multimodal, donde la complementariedad entre los diferentes modos de transporte sea la directriz.

Igualmente, el vector de ponderación de criterios indicada será una herramienta para los tomadores de decisiones, de tal manera que una vez obtenidas las zonas para la macro localización de zonas de intercambio modal, se proceda con la micro localización entre un número de posibles opciones de micro localización.

En este aspecto, se encontró que los expertos ponderan en mayor medida los criterios macro de beneficio con un 33,51%, seguido por los criterios de riesgo con 28,55%, costo 22,70% y oportunidad con 15,25%. Cada uno de estos macro criterios, presentan criterios específicos que permitirán tomar decisiones de micro localización de acuerdo con las ponderaciones obtenidas.

En cuanto a los criterios específicos, se obtuvo un vector de ponderación con 17 criterios específicos, donde la mayor ponderación de importancia la alcanza el criterio relacionado con la concentración de los nodos generadores y/o receptores de carga y articulación con el corredor logístico, esto permite inferir la necesidad de fortalecer zonas y/o sitios de consolidación y desconsolidación de carga, buscando con ello que estos se articulen con los corredores logísticos y/o zonas de intercambio modal.

La viabilidad técnica, alcanzó una ponderación de 10,11%, lo cual infiere la importancia de garantizar la posibilidad técnica para que se desarrollen las plataformas logísticas. En orden de importancia, el desarrollo sustentable y amigable con el medio ambiente alcanzó una ponderación del 9,29% aspecto que va en concordancia con la necesidad de desarrollar un verdadero sistema logístico apoyado en redes de transporte multimodal, que además de generar desarrollo económico, propenda por generar un impacto positivo al medio ambiente.

Otro aspecto que alcanzó una ponderación importante está relacionado con la necesidad de garantizar que los corredores logísticos se encuentren libres de cualquier agente externo y natural que afecte el libre tránsito en los diferentes corredores, este criterio específico alcanzó

RECOMENDACIONES

Se recomienda abordar el estudio para los diferentes corredores logísticos del país, de manera que se propenda por ser competitivos y alcanzar los estándares mundiales en cuanto a costos totales de transporte.

Sería importante adelantar estudios que permitan establecer cuál debería ser la capacidad requerida por modo de transporte, pues unas prácticas logísticas que propendan por garantizar un parque automotor suficiente, garantizará un sector económico sostenible y sustentable.

Se recomienda pensar el país logístico de forma transversal, el modelo que se ha implementado, donde el país se ha pensado de manera longitudinal, no ha permitido el desarrollo de muchas regiones ricas en productos y recursos.

Se hace importante fortalecer el sistema férreo colombiano, en particular el que permite el acceso al puerto de Buenaventura, esto teniendo en cuenta que por este puerto se moviliza cerca del 51% de la carga de impto del país.

Deberían generarse políticas que garanticen la integración entre los diferentes modos de transporte, no verse como una competencia, pues esto último no permite el desarrollo de alguno de los modos de transporte de gran uso en el territorio nacional.

11 BIBLIOGRAFÍA

Abd El-Karim, M., El Nawawy, O., & Abdel-Alim, A. (11 de Mayo de 2015). Identification and assessment of risk factors affecting construction projects. HBRC Journal .

Agencia Nacional de Infraestructura. (2016). Tabla de Peajes 2016. Bogota: Ani.
ALAM, S. (2013). Evaluation of the potential locations for logistics hubs: A case study for a logistics company. Stockholm,.

Alamur, S., Kara, B., & Karasan, O. (2012). Multimodal hub location and hub network design. Omega , 927-939.

ANDI- Asociación Nacional de Empresarios. (2014). Corredores Estratégicos para la Competitividad. Boletín, Asociación Nacional de Empresarios - ANDI, Gerencia de Logística, Transporte e Infraestructura.

Arnold, P., Peeters, D., & Thomas, I. (29 de Agosto de 2003). Modelling a rail/road intermodal transportation system. Transportation Research , 255-270.

Awasthi, A., Chauhan, S., & Goyal, S. (2011). A multicriteria decision making approach for location planning for urban distribution centre under uncertainty. Mathematical and Computer Modelling , 98-109.

Baird, A. J. (2006). Optimising the container transshipment hub location in northern Europe. Journal of Transport Geography , 195-214.

Breakers, K., Caris, A., & Janssens, G. (2013). Bi-objective optimization of drayage operations in the service area of intermodal terminals Kris. Transportation Research .

CÁMARA COLOMBIANA DE INFRAESTRUCTURA. (2012). Seguimiento a proyectos de infraestructura - Informe Dirección Técnica - Sistema Férreo Nacional. Cámara Colombiana de Infraestructura.

Canca, D. e. (2007). Una metodología basada en la construcción y resolución de modelos para la evaluación del transporte multimodal de mercancías en redes logísticas. Zaragoza - España. Primer congreso de logística y gestión de la cadena de suministro, Zaragoza.

Caramia, M., & Guerrero, F. (2009). A heuristic approach to long-haul freight transportation with multiple objective functions. Omega , 37 (3), 600-614.

Caramia, M., & Guerrero, F. (12 de Febrero de 2008). A heuristic approach to long-haul freight transportation with multiple objective functions. The International Journal of Management Science .

CEPAL. (2001). Conferencia regional sobre capital social y pobreza. Comisión Económica para América Latina. Santiago de Chile: CEPAL.

Cinelli, M., Stuart R., C., & Kerry, K. (9 de Junio de 2014). Analysis of the potentials of multi criteria decisions conduct sustainability assessment. Ecological Indicators .

CONPES 3315. (2004). Inversiones estratégicas prioritarias en zonas portuarias de Colombia. Bogotá D.C.: DNP: DIES Ministerio de Transporte.

CONPES 3611. (2009). Plan de expansión portuaria 2009-2011 Puertos para la competitividad y el desarrollo sostenible. Bogotá D.C.: DNP: DIES - ST Ministerio de Transporte.

Consortio GSM. (2014). Estudio de movilización de transporte de carga por carretera a nivel nacional. Ministerio de transporte , Bogotá.

DANE. (09 de 2016). Históricas Zonas Francas Anexos Estadísticos Comercio Exterior. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/zonas-francas/historicos-zonas-francas>

Dewitt, W., & Clinger, J. (2009). Intermodal Freight Transportation. . Committee on Intermodal Freight Transport.

DIAN. (2016). Boletín de Comercio Exterior. Unidad Administrativa Nacional - Dirección de Impuestos y Aduanas Nacional. Bogotá: DIAN.

FITAC. (Octubre de 2008). Gane Eficiencia en su transporte. I Alimentos .

Franco. et. al. (2004). Diagnóstico de la población en situación de desplazamiento PSD- Asentada en el municipio de Buenaventura. Buenaventura: Oficina de Gestión de Paz y Convivenia.

Gómez E., L. (21 de Febrero de 2016). La larga doble calzada que lleva al Pacífico se construye a tres manos. El Tiempo .

Grupo Portuario S.A. (31 de 07 de 2012). Grupoportuario. Recuperado el 31 de 07 de 2012, de Sitio web de Grupo Portuario: <http://www.grupoportuario.com.co>

Gutiérrez Morales, M. (2007). Transporte multimodal. Academia de Ingeniería . México: Academia de Ingeniería.

Hansen, T.-E. S., Mathise, T. A., & Jorgensen, F. (2012). Generalized transport costs in intermodal freight transport. Procedia - Social and behavioral Sciences , 189-200.

Herrera C., P.-P. (2010). Logística y Gestión del transporte terrestre de mercancías como eslabon fundamental en la cadena de suministros. Medellín: 9º Jornada Logística. Medellín.

Higuera, E. (12 de Junio de 2012). Asociación Nacional de Empresarios. Recuperado el 22 de Mayo de 2013, de ANDI: <http://www.andi.com.co>

IDORN CONSULTING. (2012). Asistencia técnica para la identificación y caracterización de obstáculos logísticos asociados a infraestructura en 10 sectores del programa de transformación productiva. Ministerio de Comercio Industria y Turismo, Programa de Transformación Productiva - Sectores de Clase Mundial, Bogotá.

Ishfaq, R., & Sox, C. (2011). Hub location-allocation in intermodal logistic networks. *European Journal of Operation Research* , 211-230.

Janic, M. (2007). Modelling the full costs of an intermodal and road. 33-34.

Jato-Espino, D., Castillo-Lopez, E., Rodriguez-Hernandez, J., & Canteras-Jordana, J. (14 de Junio de 2014). A review of application of multi-criteria decision making methods in construction. *Automation in Construction* .

Jiménez Carvajal, Abelardo et. al. (2011). Proyecto: Caracterización de la explotación sexual comercial en seis municipios del Valle del Cauca. Cali: CIMDER - UNIVALLE.

Kayujci, Y. (2010). A conceptual model for intermodal freight logistics centre location decisions. 6297-6311.

Kubler, S., Robert, J., Derigent, W., Voisin, A., & Traon, Y. Le. (2016). A state-of-the-art survey & testbed of Fuzzy AHP (FAHP) applications. *Expert Systems with Applications*, 65(September), 398–422. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.08.064>

Li, G., Hu, D., & Su, L. (2013). The model of location for a single allocation multimodal hub under capacity constraints. *Procedia - Social and Behaviora Sciences* .

Lin, C.-C., Chiang, Y.-I., & Lin, S.-W. (2014). Efficient model and heuristic for the intermodal location problem. *Computers & Operations Research* , 41-51.

Long, S., & Scott E., G. (Diciembre de 2012). A strategic decision model for evaluating inland freight hub location. *Research in Transportation Business & Management* .

López, Ch. Liliana, Moscoso, Fabio F. (2005). La eficiencia portuaria colombiana en el contexto latinoamericano y sus efectos en el proceso de negociación con Estados Unidos. Universidad Externado de Colombia - Facultad de Economía. Bogota D.C.: Universidad Externado de Colombia.

Macharis, C., & Bontekoning, Y. (2004). Opportunities for OR in intermodal freight transport: A review. *European Journal of Operational Research* (153), 400-416.

Macharis, C., & Verbeke, A. (2002). Location analysis for Belgian intermodal terminals a tool for achieving sustainable intermodal transport in Belgium. *Current issues in Port Logistics and Intermodality* .

Meza Aguirre, Oscar Eduardo. (2008). Puerto de Buenaventura: Problemas estructurales y coyunturales y su influencia en la competitividad para las empresas de la ciudad de Manizales. Manizales: Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

Ministerio de fomento. (2001). El lenguaje del transporte intermodal. Vocabulario ilustrado. En ANÁLISIS, INFORMACIÓN Y DIVULGACIÓN SOBRE LA APORTACIÓN DEL TRANSPORTE POR CARRETERA A LA INTERMODALIDAD (págs. 4-44). España: Ministerio de fomento.

Ministerio de Transporte . (2010). Altimetrias Carreteras de Colombia. Bogota: Ministerio de Transporte.

Ministerio de transporte. (08 de 2016). Resoluciones 3444 Agosto 2016. Obtenido de http://legal.legis.com.co/document?obra=legcol&document=legcol_7af3691db26542fa9f566f87239ca309

Ministerio de Transporte. (2007). Documento CONPES 3849 Política Nacional de Transporte Público Automotor de Carga. Bogota: Mintransporte.

Ministerio de Transporte. (2008). Documento CONPES 3547. Bogotá: MINTRANSPORTE.

Ministerio de Transporte. (2011). Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga SICE-TAC. Obtenido de https://www.mintransporte.gov.co/Publicaciones/en_linea/sistema_de_informacion_de_costos_eficientes_para_el_transporte_automotor_de_carga_sice-tac

Ministerio de Transporte. (2013). Informe consolidado Año 2012 - Movimiento de carga en los puertos marítimos colombianos. Oficina de Planeación - Superintendencia de puertos y transportes. Bogotá: Ministerio de transporte.

Ministerio de transporte. (2013). Infraestructura para la competitividad nacional y de la altillanura en Colombia. Ministerio de transporte. Bogotá: Mintransporte.

Ministerio de Transporte. (2015). Anuario Estadístico Transporte en Cifras - Estadística 2015. Bogota.

Ministerio de Transporte. (2011). Diagnóstico del transporte 2011. Oficina Asesora de Planeación, Grupo de Planificación Sectorial. Bogotá D.C.: Ministerior.

- Mójica R., A. (2009). Diagnóstico del transporte 2009. Bogotá: Mintransporte.
- Muñoz Aguilar, R. A. (2012). La logística es la última frontera de la rentabilidad. Powerpoint, Adicomex, Cali.
- Ocampo, Jose Antonio et.al. (2007). Crisis mundial, protección e industrialización. Bogotá: Grupo Editorial Norma.
- Ohmae, K. (2005). Un modelo alternativo al desarrollo económico local. Seminario Iberpyme PNUD.
- Pardo Q., C. (7 de Abril de 2014). Vía a Buenaventura sería terminada a finales del 2016. Portafolio .
- Pérez, Gerson Javier et. al. (2007). Historia, geografía y puerto como determinantes de la situación social de Buenaventura. Cartagena: Banco de la República. Centro de Estudios Económicos Regionales CEER.
- PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (2002). Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2002-2006. Bogotá: Presidencia de la República.
- PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (27 de marzo de 1971). Decreto 410 de marzo 27 de 1971. Código de comercio de cali .
- PROCOLOMBIA. (2015). Infraestructura logística y transporte de carga en Colombia. Procolombia.
- Puerto Solo . (2016). Puerto Solo . Recuperado el 3 de Diciembre de 2016, de Puerto Solo: <http://www.puertoso.com/portal/>
- Racunica, I., & Wynter, L. (2005). Optimal location of intermodal freight hubs. Transportation Research , 453-377.
- Resa, Silvia. (Marzo de 2004). La hora de la verdad para los operadores logísticos. Distribución y Consumo , 59-67.
- Russo, R. de F. S. M., & Camanho, R. (2015). Criteria in AHP: A Systematic Review of Literature. Procedia Computer Science, 55, 1123–1132. <http://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.081>
- Saaty, T., & Vargas, L. (2006). Decision making with analytic network process. New York: Springer.
- Sirikijpajanichkul Ackchai, V. D. (2007). Optimizing the location of intermodal freight Hubs. Journal of transportation systems engineering and information technology , 7, 71-81.

Sirikijpanichkul, A., & Ferreira, L. (2005). Multi-objective Evaluation of Intermodal Freight Terminal Location Decisions. Queensland University of Technology, Queensland.

Sirikijpanichkul, A., Van Dam, K., Ferreira, L., & Lukszo, Z. (2007). Optimizing the location of intermodal freight hubs: An overview of the Agent Based Modelling Approach. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 7 (4), 71-81.

Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. (2012). Retos estratégicos del Puerto de Buenaventura y de la Cadena Logística del Transporte frente a los T.L.C. Cali.

Sociedad Puerto Industrial de Aguadulce. (2016). Aguadulce - Buenaventura. Recuperado el 3 de Diciembre de 2015, de Puerto de Aguadulce: <http://www.puertoaguadulce.com>

Sörensen, K., & Vanovermeire, C. (2013). Bi-objective optimization of the intermodal terminal location problem as a policy-support tool. Computers in Industry (64), 128-135.

Stadieseifi, M., Dallaert, N., Nijjten, W., Van Woensel, T., & Raoufi, R. (16 de febrero de 2014). Multimodal freight transportation planning: A literature review. European Journal of Operation Research, 1-15.

Stadieseifi, M., Dallaert, N., Nuijten, W., Van Woensel, T., & Raoufi, R. (16 de febrero de 2014). Multimodal freight transportation planning: A literature review. European Journal of Operation Research, 1-15.

Terminal de contenedores de Buenaventura - TCBUEN. (3 de diciembre de 2016). TCBUEN Terminal de contenedores de Buenaventura. Recuperado el 3 de Diciembre de 2016, de TCBUEN: <http://www.tcbuen.com.co/es/servicios-2/equipos/>

Terminal de Contenedores de Buenaventura. (01 de 01 de 2011). TCBUEN. Recuperado el 31 de Julio de 2012, de Sitio web de Tcbuen: <http://www.tcbuen.com/es>

Terminales Maritimos Muelles El Bosque S.A. (19 de Julio de 2009). El Bosque. Recuperado el 31 de Julio de 2012, de Sitio Web de CEMAS: <http://portal.elbosque.com>
Tren de occidente. (2015). Obtenido de Tren de occidente S.A: www.trendeoccidente.com/

Vidal H., C., Bravo B., J., Cajiao G., E., Meza H., P., Arango S., S., Franco L., D., y otros. (2012). Guía metodológica para la priorización de proyectos. Un enfoque

aplicado a la infraestructura, la logística y la conectividad. Cali, Colombia: Sello editorial Javeriano.

Viloria, R. O., & Ohmae, K. (2007). El próximo escenario global, desafíos y oportunidades en un mundo sin fronteras. *Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura* , enero-junio , XIII (001), 373-379.

Woxenius, J. (2007). Generic framework for transport network designs. *Transport Reviews* , 27 (6), 733-749.

Yamada, T., Frazila Russ, B., Castro, J., & Taniguchi, E. (2009). Designing Multimodal Freight Transport Networks: A Heuristic Approach and Applications. 43 (2), 129-143.

Yevdokimov, Y. V. (1997). Measuring Economics Benefits of Intermodal Transportation.

Zanjirani Farahani, R., Hekmatfar, M., Boloori Arbani, A., & Nikbakhsh, E. (9 de Febrero de 2013). Hub location problems: A review of models, classification, solution techniques and applications. *Computers & Industrial Engineering* , 1096-1109.

Zhi-Hua-Hu. (2011). A container multimodal transportation scheduling approach based on immune. 38, 2632-2639.

Anexo 1 Criterios seleccionados para el proceso de Análisis Jerárquico

Criterio	Título referencia	Autores	Fecha	Ubicación	Publicación
Criterio 1: Importancia estratégica en la competitividad nacional	Guía Metodología para la priorización de proyectos: Un enfoque aplicado a la infraestructura la logística, y a la conectividad. Autores	Carlos Julio Vidal Holguín - Juan José Bravo Bastidas - Ernesto Cajiao Gómez - Pedro Pablo Meza Herrera - Sebastián Arango Sandlemente - Diego Franco Leyton - Jaime Hernan Calderón.	2012	Cali	Pontificia Universidad Javeriana Cali, Universidad del Valle, Universidad de San Buenaventura, Universidad Santiago de Cali.
Criterio 2: Concentración de los nodos generadores de carga	A Multi-Criteria Approach to Dry Port Location in Developing Economies with Application to Vietnam	Lam Canh Nguyena , Theo Notteboom	2015	Research associate, University of Antwerp, Belgium & Lecturer, Vietnam Maritime University, Vietnam	The Asian Journal of Shipping and Logistics
Criterio 3: Grado de articulación de corredores y plataformas logísticas	Evaluation of the potential locations for logistics hubs: A case study for a logistics company	Degree project in Transport and Location Analysis Sheikh Ariful Alam	2013	Stockholm, Sweden 2013	Division of Transport and Location Analysis Department of Transport Science KTH Royal Institute of Technology
Criterio 4: Impacto en la reducción de accidentalidad	Estudio comparativo del análisis costo beneficio y una técnica multicriterio aplicado a un proyecto de transporte	Alejandro Tudela R., René Cisternas M.	2010	Concepcion Chile	FONDECYT, Universidad de Concepción
Criterio 5: Impacto en la reducción de la congestión por la optimización del parque automotor de carga, en el corredor objeto de estudio.	Optimización dinámica de estrategias de movilidad sostenible en áreas metropolitanas	Luis Angel Guzmán Garcia	2011	Madrid	Universidad Politécnica De Madrid Escuela Técnica Superior De Ingenieros De Caminos, Canales Y Puertos Departamento De Ingeniería Civil y Transportes
Criterio 6: Viabilidad técnica para el desarrollo	Artículo Factores para evaluar la viabilidad de proyectos de conservación de edificaciones esenciales, no productivas, en zonas sísmicas	González Díaz y Vidaud Quintana.	2009	Cuba	Facultad de Construcciones. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba
Criterio 7: Reducción de costos en mantenimiento de carreteras	Análisis de valor en la toma de decisiones aplicado a carreteras	Tesis doctoral realizada por: Noé Villegas Flores	2009	Universitat Politècnica de Catalunya Departament d'Enginyeria de la Construcció	Tesis doctoral realizada por: Noé Villegas Flores
Criterio 8: Generación de puestos laborales	Aplicación de métodos de toma de decisiones multi-atributo en la definición de prioridades en la gestión de infraestructuras en san luis potosi, méxico tesis doctoral	Francisco Javier Morales Flores	2011	Madrid	Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Departamento de Proyectos y Planificación Rural
Criterio 9: Reducción de costos globales de transporte	Assessment of transport connections based on accessibility	András Gulyás, Áron Kovács	2016	aUniversity of Pécs, Hungary	Elsevier, 6th Transport Research Arena
Criterio 10: Valor de inversiones	Guía Metodología para la priorización de proyectos: Un enfoque aplicado a la infraestructura la logística, y a la conectividad. Autores	Carlos Julio Vidal Holguín - Juan José Bravo Bastidas - Ernesto Cajiao Gómez - Pedro Pablo Meza Herrera - Sebastián Arango Sandlemente - Diego Franco Leyton - Jaime Hernan Calderon.	2012	Cali	Pontificia Universidad Javeriana Cali, Universidad del Valle, Universidad de San Buenaventura, Universidad Santiago de Cali.
Criterio 11: Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y cambio en el uso de energéticos	Guía Metodología para la priorización de proyectos: Un enfoque aplicado a la infraestructura la logística, y a la conectividad. Autores	Carlos Julio Vidal Holguín - Juan José Bravo Bastidas - Ernesto Cajiao Gómez - Pedro Pablo Meza Herrera - Sebastián Arango Sandlemente - Diego Franco Leyton - Jaime Hernan Calderon.	2012	Cali	Pontificia Universidad Javeriana Cali, Universidad del Valle, Universidad de San Buenaventura, Universidad Santiago de Cali.
Criterio 12: Generación de economías de escala	Research on the Performance Evaluation of Logistics Enterprise Based on the Analytic Hierarchy Process	Jiansheng Zhangab, Wei Tana	2012	Southwest Jiaotong University, Chengdu, China, Chongqing Three Gorges University, Chongqing, China	Elsevier Ltd, committee of 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering (ICAEE).
Criterio 13: Oportunidad y capacidad de almacenamiento en las plataformas de transferencia	A Selection Model to Logistic Centers Based on TOPSIS and MCGP Methods: The Case of Airline Industry	Kou-Huang Chen, Chin-Nung Liao, Li-Chun Wu	2014	Taiwan	Department of Industrial Engineering and Management, China University of Science and Technology, Taipei 115, Taiwan
Criterio 14: Disponibilidad y acceso de TIC's	Guía Metodología para la priorización de proyectos: Un enfoque aplicado a la infraestructura la logística, y a la conectividad. Autores	Carlos Julio Vidal Holguín - Juan José Bravo Bastidas - Ernesto Cajiao Gómez - Pedro Pablo Meza Herrera - Sebastián Arango Sandlemente - Diego Franco Leyton - Jaime Hernan Calderon.	2012	Cali	Pontificia Universidad Javeriana Cali, Universidad del Valle, Universidad de San Buenaventura, Universidad Santiago de Cali.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 1 Criterios seleccionados para el proceso de Análisis Jerárquico (Cont.)

Criterio	Título referencia	Autores	Fecha	Ubicación	Publicación
Criterio 15: Aumento de competitividad logística para la región	Multiple-Criteria Analysis and Choice of Transportation Alternatives in Multimodal Freight Transport System	Eugene Kopytov, Dmitry Abramov	2012	Transport and Telecommunication Institute, Lomonosova str, Riga, Latvia	
Criterio 16: Comodidad y conveniencia del usuario tranza con un solo porteador en el transporte intermodal.	Port competitiveness determinants of selected european ports in the containerized cargo market	Raimonds Aronietis Eddy Van de Voorde Thierry Vanelslander	2010		University of Antwerp Department of Transport and Regional Economics
Criterio 17: Voluntad e interés político	Identification and assessment of risk factors affecting construction projects	Mohamed Sayed Bassiony Ahmed Abd El-Karim, Omar Aly Mosa El Nawawy, Ahmed Mohamed Abdel-Alim	2014	Construction Management Civil Engineering Department Matarayah, Helwan University, Egypt	HBRC Journal
Criterio 18: Compromiso de grupos de interés	Guía Metodología para la priorización de proyectos: Un enfoque aplicado a la infraestructura la logística, y a la conectividad. Autores	Carlos Julio Vidal Holguín - Juan José Bravo Bastidas - Ernesto Cajiao Gómez - Pedro Pablo Meza Herrera - Sebastián Arango Sandlemente - Diego Franco Leyton - Jaime Hernan Calderon.	2012	Cali	Pontificia Universidad Javeriana Cali, Universidad del Valle, Universidad de San Buenaventura, Universidad Santiago de Cali.
Criterio 19: Control del contrabando y actividades ilícitas	Guía Metodología para la priorización de proyectos: Un enfoque aplicado a la infraestructura la logística, y a la conectividad. Autores	Carlos Julio Vidal Holguín - Juan José Bravo Bastidas - Ernesto Cajiao Gómez - Pedro Pablo Meza Herrera - Sebastián Arango Sandlemente - Diego Franco Leyton - Jaime Hernan Calderon.	2012	Cali	Pontificia Universidad Javeriana Cali, Universidad del Valle, Universidad de San Buenaventura, Universidad Santiago de Cali.
Criterio 20: Estabilidad política	Guía Metodología para la priorización de proyectos: Un enfoque aplicado a la infraestructura la logística, y a la conectividad. Autores	Carlos Julio Vidal Holguín - Juan José Bravo Bastidas - Ernesto Cajiao Gómez - Pedro Pablo Meza Herrera - Sebastián Arango Sandlemente - Diego Franco Leyton - Jaime Hernan Calderon.	2012	Cali	Pontificia Universidad Javeriana Cali, Universidad del Valle, Universidad de San Buenaventura, Universidad Santiago de Cali.
Criterio 21: Estabilidad Social o/y desarrollo social	Guía Metodología para la priorización de proyectos: Un enfoque aplicado a la infraestructura la logística, y a la conectividad. Autores	Carlos Julio Vidal Holguín - Juan José Bravo Bastidas - Ernesto Cajiao Gómez - Pedro Pablo Meza Herrera - Sebastián Arango Sandlemente - Diego Franco Leyton - Jaime Hernan Calderon.	2012	Cali	Pontificia Universidad Javeriana Cali, Universidad del Valle, Universidad de San Buenaventura, Universidad Santiago de Cali.
Criterio 22: Desarrollo económico sustentable y sostenible.	Estudio de priorización para sectores y regiones en el marco del Proyecto IPACC	Joanna Kámiche	2013	Ministerio del Ambiente - Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos www.minam.gob.pe	IPACC (2013)
Criterio 23: Uso de Suelo	Estudio para la Consolidación del Sistema Integrado de Transporte Público de Lima	Consorcio Getinsa – Taryet – Geoconsult para Protransporte (Municipalidad Metropolitana de Lima) y FONAM con financiamiento del Banco Mundial.	2010		Fonam Fondo nacional de ambiente peru

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2 Modelo AMPL.

ARCHIVO MODELO PONENCIA

CONJUNTOS PRINCIPALES

set NOD; # Conjuntos de Nodos en la red indexado por los subíndices i, j

set TEC; # Conjuntos de tipos de tecnología indexado por m

SUBCONJUNTOS

set HUB within NOD; # Conjunto de Zonas de Intercambio Modal indexado por los subíndices k, l

PARAMETROS

param w{i in NOD, j in NOD} >=0;
Demanda contenedorizada desde el nodo de origen i hasta el nodo destino j [Toneladas/año]

param cta{i in NOD, k in HUB} >=0;
Costo de transporte por carretera de una unidad contenedorizada entre los nodos i y zonas de intercambio modal k [\$/Ton.Km]

param ctb{l in HUB, j in NOD} >=0;
Costo de transporte por carretera de una unidad contenedorizada entre la zona de intercambio modal l y el nodo j [\$/Ton.Km]

param cf{k in HUB, l in HUB} >=0;
Costo de transporte por vía férrea de una unidad contenedorizada entre la zona de intercambio modal k y la zonas de intercambio modal l, DEPENDE DE LA TECNOLOGIA [\$/Ton.Km]

param fh{k in HUB, m in TEC} >=0;
Costo fijo de establecer y operar una zona de intercambio modal k con un tipo de tecnología m [\$/año]

param alpha{i in NOD, k in HUB} >=0;
Factor descontado del costo de transporte entre el nodo de origen i a la zona de intercambio modal k [adimensional]

param betha{m in TEC} >=0;
Factor descontado QUE CARACTERIZA A LA TECNOLOGIA PARA TRANSPORTE FERREO [adimensional]

param deltha{l in HUB, j in NOD} >=0;
Factor descontado del costo de transporte entre la zona de intercambio modal l y el nodo j [adimensional]

param p >= 0;
Número de zonas de intercambio modal a establecer en la red

param DTA{i in NOD, k in HUB} >=0;
Distancia entre el nodo i y la zona de intercambio modal k [km]

param DF{k in HUB, l in HUB} >=0;
Distancia entre la zona de intercambio modal k y la zona de intercambio modal l [km]

param DTB{l in HUB, j in NOD} >=0;
Distancia entre la zona de intercambio modal l y el nodo j [km]

param flete_int {k in HUB} >=0 default 0; # parametro para calcular los fletes internos de nodos asociados a un mismo hub

param flete_nod; # flete interno entre nodos

param DN {i in NOD, j in NOD}; # distancias entre nodos

VARIABLES DE DECISIÓN

var X{i in NOD, k in HUB} binary;
1 si el nodo i es asignado a la zona de intercambio modal k; 0 de lo contrario

var Y{k in HUB} binary;
1 si el nodo k es establecido como una zona de intercambio modal k; 0 de lo contrario

var Z{i in NOD, j in NOD, k in HUB, l in HUB, m in TEC: i<>j and k<>l} binary;
1 si el flujo generado en el nodo i es destinado al nodo j con el tipo de servicio s, utilizando las zonas de intercambio modal k,l; 0 de lo contrario

var Q{k in HUB, l in HUB:k<l} binary;

var T{k in HUB, m in TEC} binary;
1 si la zona de intercambio modal es establecida en el nodo k utilizando el tipo de tecnología m; 0 de lo contrario

FUNCIÓN OBJETIVO

minimize costo_total:

sum{k in HUB, m in TEC}(fh[k,m]*T[k,m])
Costo total de establecer y operar las zonas de intercambio modal [\$/año]
+ sum{i in NOD, j in NOD, k in HUB, l in HUB, m in TEC: i<>j and k<>l}(w[i,j]*DF[k,l]*cf[k,l]*beta[m]*Z[i,j,k,l,m])
Costo Total de Transporte Férreo en la red [\$/año]
+ sum{i in NOD, j in NOD, k in HUB, l in HUB, m in TEC:i<>j and k<>l}(w[i,j]*(DTA[i,k]*cta[i,k]*alpha[i,k]+DTB[l,j]*ctb[l,j]*deltha[l,j])*Z[i,j,k,l,m]);
Costo Total de Transporte por Carretera en la red [\$/año]

RESTRICCIONES

subject to constraint1{i in NOD}: sum{k in HUB}(X[i,k])=1;
Restricción de asignación de un nodo a una sola zona de intercambio modal establecida

subject to constraint2{i in NOD, k in HUB}: X[i,k]<=X[k,k];
Restricción de asignación de un nodo a una zona de intercambio modal abierta

subject to constraint3{k in HUB}: Y[k]<=X[k,k];
Restricción de asignación de un nodo a una zona de intercambio modal abierta

subject to constraint4: sum{k in HUB}(X[k,k])=p;
Restricción que establece la cantidad de zonas de intercambio modal en la red

subject to constraint5{k in HUB, l in HUB:k<l}: Q[k,l]<=Y[k];

subject to constraint6{k in HUB, l in HUB:k<l}: Q[k,l]<=Y[l];

subject to constraint7{i in NOD, j in NOD, k in HUB: i<>j}: sum{l in HUB, m in TEC: l<>k} Z[i,j,k,l,m] - sum{l in HUB, m in TEC: k<>l} Z[i,j,l,k,m] = X[i,k] - X[j,k];

subject to constarint8{i in NOD, j in NOD, k in HUB, l in HUB, m in TEC:i<>j and k<l}: Z[i,j,k,l,m] + Z[i,j,l,k,m] <= Q[k,l];

#subject to constraint7{i in NOD, j in NOD: i<>j}: sum{k in HUB, l in HUB:k<l}(Z[i,j,k,l])=1;
Restricción que establece una única ruta

#subject to constraint9{i in NOD, j in NOD, k in HUB, l in HUB, m in TEC: i<>j and k<>l}: (Z[i,j,k,l,m])<=(Y[k]);

#subject to constraint10{i in NOD, j in NOD, k in HUB, l in HUB, m in TEC: i<>j and k<>l}: (Z[i,j,k,l,m])<=(Y[l]);

subject to constraint11 {k in HUB, m in TEC}: $T[k,m] \leq Y[k]$;

subject to constraint12 {k in HUB}: $\sum\{m \text{ in TEC}\} (T[k,m]) \leq Y[k]$;

#subject to constraint13 {k in HUB, l in HUB, m in TEC: $k \neq l$ }: $(T[k,m]) = (T[l,m])$;

subject to constraint14 {i in NOD, j in NOD, k in HUB, l in HUB, m in TEC: $i \neq j$ and $k \neq l$ }: $(Z[i,j,k,l,m]) \leq (T[k,m])$;

#subject to constraint15: $Y[3] = 1$;

subject to constraint16: $Y[1] = 1$;

subject to constraint17: $Y[11] = 1$;

#subject to constraint18 {k in HUB}: $T[k,1] = 1$;

Anexo 3 Comandos Modelo Matemático AMPL.

```
# COMANDOS EN AMPL CORRESPONDIENTES AL TALLER FINAL  
# PARA UTILIZAR EN LA PAGINA NEOS POR INTERNET
```

```
# COMANDOS DE INICIALIZACIÓN DE CONDICIONES:
```

```
option show_stats 1;  
option solution_precision 0;  
option omit_zero_rows 1;  
option omit_zero_cols 1;  
option display_precision 6;  
option display_round 1;  
option display_width 50;
```

```
# COMANDO DE SOLUCIÓN:
```

```
solve;
```

```
# COMANDOS DE IMPRESIÓN DE RESULTADOS:
```

```
printf "\n\n*****\n";  
printf "RESULTADOS DE LA PONENCIA FINAL\n";  
printf "*****\n\n";
```

```
printf "\nCOSTO TOTAL = \t%9.1f", costo_total;
```

```
printf "\n\nCONFIGURACION DEL SISTEMA ASIGNACION NODOS A HUBS  
=\n\n";  
display X;
```

```
printf "\nESTABLECIMIENTO DE HUBS =\n\n";  
display Y;
```

```
printf "\nRUTAS DE CARGA CONTENEDORIZADA =\n\n";  
display Z;
```

```
printf "\nENLACES HUB =\n\n";  
display Q;
```

```
printf "\nASIGNACION TIPOS DE TECNOLOGIA A HUBS =\n\n";  
display T;
```

```
for {k in HUB}  
{  
  
    if Y[k] = 1 then
```



```

for {i in NOD}
{
    if X[i,k] = 1 then
        for {j in NOD:j<>i}
        {
            if X[j,k] = 1 then let flete_int[k]:= flete_int[k] + flete_nod*DN[i,j]*w[i,j];
        }
    }
}

```

```

display flete_int;
display costo_total;
display sum {k in HUB} flete_int[k];
display costo_total + sum {k in HUB} flete_int[k];

```

Anexo 4 Datos Modelo Matemático AMPL, Escenario 1.

ARCHIVO DATOS PONENCIA

CONJUNTOS PRINCIPALES

set NOD:=

1
2
3
4
5
6
;

set HUB:=

3
4
5
;

set TEC:=

1
2
3
;

PARÁMETROS

param w:	1	2	3	4	5	6	:=
1	0	105	250	100	10	80	
2	520	0	400	190	74	0	
3	350	754	0	250	123	517	
4	870	336	280	0	650	187	
5	50	64	0	89	0	154	
6	880	750	8	950	644	0;	

param cta:	3	4	5	:=
1	12	15	8	
2	10	7	17	
3	20	18	25	
4	10	7	19	
5	18	11	22	
6	8	16	17;	

```

param ctb:  1    2    3    4    5    6    :=
3          12   10   20   10   18   8
4          15   7    18   7    11   16
5          8    17   25   19   22   17;

```

```

#param cf:  3    4    5    :=
#3         100  10   10
#4         100  10   10
#5         100  10  10;

```

```

param fh:   1    2    3:=
3          2500 2200 1800
4          2750 2000 1450
5          3480 2564 2087
;

```

```

param DN:  1    2    3    4    5    6    :=
1          0    10   100  200  320  500
2          10   0    80   250  400  430
3          100  80   0    120  210  390
4          200  250  120  0    175  280
5          320  400  210  175  0    117
6          500  430  390  280  117  0
;

```

```

param alpha:3    4    5    :=
1          0.82 0.74 0.88
2          0.90 0.98 0.77
3          0.72 0.92 0.92
4          0.69 0.89 0.82
5          0.59 0.91 0.85
6          0.70 0.90 0.82
;

```

```

param betha:=
1          1.4
2          1.2
3          1.0
;

```

```

param deltha:      1      2      3      4      5      6      :=
3      0.72  0.90  0.92  0.98  0.68  0.70
4      0.84  0.98  0.72  0.79  0.81  0.70
5      0.78  0.77  0.95  0.95  0.85  0.90
;

```

```

param p:= 2;

```

```

param flete_nod:= 7;

```

```

param DTA: 3      4      5      :=
1      100  200  320
2      80   250  400
3      0    120  210
4      120  0    175
5      217  138  0
6      390  280  117
;

```

```

param DF: 3      4      5      :=
3      0    120  210
4      120  0    175
5      217  138  0
;

```

```

param DTB: 1      2      3      4      5      6      :=
3      100  80   0    120  217  390
4      200  250  120  0    138  280
5      320  400  210  175  0    117
;

```

Anexo 5 Datos Modelo Matemático AMPL, Escenario 2.

ARCHIVO DATOS PONENCIA

CONJUNTOS PRINCIPALES

set NOD:=

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
;

set HUB:=

1
4
5
8
9
14
;

set TEC:=

1
2
3
;

PARÁMETROS

param w:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	12	13	14	:=							
1	0	312927		17118	145053		65118	344371		4651	
	4892	19026	9694	32345	14406	23557	27996				
2		279778	0	206802		596	456304		0	58099	
	2081	23282	6655	66920	13722	35335	49881				

3	35855 1242073	0	861101	30767 506808	7353
	9101 12849 10279 2248	12528 11243 7709			
4	223402	0	267887	0	225471 0 42307
	35972 38248 38248 38248	36615 38248 38255			
5	141995	840004	26744 249606	0	780024
	30013 6880 7546 7856	7001 7738 7812 7933			
6	188372	0	691070	439098	0 60257 40809
	102 39414 40809 36942	1 39797			
7	44853 146079	9127 24054 3616	978570	15077 15076	
	15076 15076 15076 15076	15076			
8	0 0 0	0	90057 311670	0	0 38403
	40434 31 42 600				
9	0 0	23126 123072	154330	0	8791 0 0
	0 43223 44816 43879				
10	7093 228562	472000	0 0 0	0 0 0	
	0 0 19624 19951				
11	808160	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
	175820 52767				
12	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
	0 0 0				
13	0 0 0	0 0 0	646520	0	0 0 0
	0 0 0				
14	0 0 0	0 0 0	70606 263720	8791 175820	
	0 0 0;				

param cta:	1	4	5	8	9	14	:=
1	0	154.16	155.99	166.14	166.14	167.64	
2	154.16	162.29	162.29	158.14	158.14		
	163.2						
3	154.16	162.29	162.29	158.14	158.14		
	163.2						
4	154.16	0	162.29	158.14	158.14	163.2	
5	157.46	144.2 0	192.2	192.2 179.94			
6	157.46	144.2 162.29	192.2	192.2 179.94			
7	161.26	148.02	141.78	200.82	200.82		
	174.02						
8	166.14	158.14	184.73	0	195.53	179.95	
9	166.14	158.14	184.73	195.53	0	179.95	
10	170.93	161.09	161.09	185.21	185.21		
	177.05						

11	151.84	149.29	153.98	148.09	148.09
	142.18				
12	149.53	154.55	154.55	150.22	150.22
	138.29				
13	145.85	156.07	156.07	137.96	137.96
	140.85				
14	167.64	163.2	159.27	179.95	179.95
					0;

param ctb:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	12	13	14	:=							
1	0	154.16	154.16	154.16	154.16	157.46	157.46				
	161.26	166.14	166.14	166.14	170.93	151.84	149.53				
	145.85	167.64									
4	154.16	162.29	162.29	0	144.2	144.2	148.02				
	158.14	158.14	161.09	149.29	154.55	156.07					
	163.2										
5	155.99	162.29	162.29	162.29	0	162.29					
	141.78	184.73	184.73	161.09	153.98	154.55					
	156.07	159.27									
8	166.14	158.14	158.14	158.14	158.14	192.2	192.2				
	200.82	0	195.53	185.21	148.09	150.22					
	137.96	179.95									
9	166.14	158.14	158.14	158.14	158.14	192.2	192.2				
	200.82	195.53	0	185.21	148.09	150.22					
	137.96	179.95									
14	167.64	163.2	163.2	163.2	179.94	179.94	174.02				
	179.95	179.95	177.05	142.18	138.29	140.85					
											0;

param cf:	1	4	5	8	9	14	:=
1	0	51.4	52.5	55.4	55.4	55.9	
4	51.4	0	48.1	52.7	52.7	54.4	
5	52.5	48.1	0	61.6	61.6	60	
8	55.4	52.7	61.6	0	65.2	60	
9	55.4	52.7	61.6	65.2	0	60	
14	55.9	54.4	60	60	60	0;	

param fh:	1	2	3	:=
1	43510603	41837118	33469695	
4	43510603	41837118	33469695	
5	43510603	41837118	33469695	
8	43510603	41837118	33469695	
9	43510603	41837118	33469695	
14	43510603	41837118	33469695;	

param DN:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	12	13	14	:=								
1	0	117	130	113	178	225	209	346	472	467	1298	
	1099	1251	506									
2	117	0	13.9	67.6	133	180	164	301	426	422	1253	
	1054	1205	461									
3	129	14.3	0	59.9	125	172	156	294	419	414	1245	
	1046	1198	454									
4	114	69.6	58.9	0	67.7	114	98.2	236	361	356	1188	
	988	1140	396									
5	179	135	124	67.1	0	51.8	47.1	173	298	294	1125	
	926	1077	345									
6	226	182	171	114	47.6	0	57	122	247	242	1074	
	875	1026	344									
7	211	166	155	98.6	46.7	59.3	0	156	275	276	1102	
	909	1054	299									
8	347	302	291	235	168	121	155	0	244	131	831	
	763	963	367									
9	472	427	417	360	293	246	276	244	0	243	828	
	894	780	207									
10	465	420	409	352	286	239	273	128	244	0	705	
	637	837	419									
11	1166	1121	1111	1054	987	940	1110	830	835	704	0	
	120	1201	1010									
12	1098	1054	1043	986	919	873	907	762	902	636	119	0
	226	1077										
13	1260	1215	1204	1204	1081	1034	1064	980	789	854	104	
	227	0	964									
14	509	465	454	397	345	345	300	367	207	418	1002	
	1068	955	0;									

param alpha:	1	4	5	8	9	14	:=
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
10	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
11	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
12	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	


```

13      1.0  1.0  1.0  1.0  1.0  1.0
14      1.0  1.0  1.0  1.0  1.0  1.0;

```

param betha:=

```

1      1.0
2      1.3
3      1.5;

```

```

param deltha:      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
                  11     12     13     14     :=
1                  1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
                  1.0   1.0   1.0
4                  1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
                  1.0   1.0   1.0
5                  1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
                  1.0   1.0   1.0
8                  1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
                  1.0   1.0   1.0
9                  1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
                  1.0   1.0   1.0
14                 1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
                  1.0   1.0   1.0;

```

param p:= 6;

param flete_nod:= 137.96;

```

param DTA: 1      4      5      8      9      14      :=
1          0      113   178   346   472   506
2          117   67.6  133   301   426   461
3          129   59.9  125   294   419   454
4          114   0      67.7  236   361   396
5          179   67.1  0      173   298   345
6          226   114   47.6  122   247   344
7          211   98.6  46.7  156   275   299
8          347   235   168   0      244   367
9          472   360   293   244   0      207
10         465   352   286   128   244   419
11         1166  1054  987   830   835   1010
12         1098  986   919   762   902   1077
13         1260  1148  1081  980   789   964
14         509   397   345   367   207   0;

```

param DF: 1 4 5 8 9 14 :=

1	0	238	301	471	576	684
4	238	0	63	233	338	446
5	301	63	0	170	275	383
8	471	233	170	0	105	213
9	576	338	275	105	0	108
14	684	446	383	213	108	0;

param DTB:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	12	13	14	:=							
1	0	117	129	114	179	226	211	347	472	465	
	1166	1098	1260	509							
4	113	67.6	59.9	0	67.1	114	98.6	235	360	352	
	1054	986	1148	397							
5	178	133	125	67.7	0	47.6	46.7	168	293	286	
	987	919	1081	345							
8	346	301	294	236	173	122	156	0	244	128	
	830	762	980	367							
9	472	426	419	361	298	247	275	244	0	244	
	835	902	789	207							
14	506	461	454	396	345	344	299	367	207	419	
	1010	1077	964	0;							