



## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**Autores:**

**GABRIEL IGNACIO AGUAS PALENCIA**

**RICARDO ALFONSO CHINCHILLA IBARRA**

**GILBERTO MONTOYA BERBÉN**

**Universidad Magdalena**

Facultad de Ingeniería

Programa de Maestría en Logística y Cadena de Suministros

Santa Marta, Colombia

2021



**ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA  
LOGÍSTICA EN EL MUNICIPIO DE CIÉNAGA – MAGDALENA**

**Autores:**

**GABRIEL IGNACIO AGUAS PALENCIA**

**RICARDO ALFONSO CHINCHILLA IBARRA**

**GILBERTO MONTOYA BERBÉN**

**Tutor:**

**Doctor Néstor Enrique Caicedo Solano**

**Doctor Vladimir Igor Balza Franco**

**Universidad del Magdalena**

**Facultad de Ingeniería**

**Programa de Maestría en Logística y Cadena de Suministros**

**Santa Marta, Colombia**

**2021**

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>Lista de Tablas</b> .....	<b>4</b>
<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
<b>Objetivo General</b> .....	<b>8</b>
<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>8</b>
<b>1. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1. Estructura, desempeño logístico y competitividad del transporte de carga en Colombia</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2. Integración de sistemas y modos de transporte de carga en el Caribe colombiano</b> .....	<b>16</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1. Clústeres y plataformas logísticas</b> .....	<b>24</b>
<b>3.2. Modelos matemáticos y de simulación</b> .....	<b>26</b>
<b>4. REVISION DE LITERATURA</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1. Aglomeración espacial de las actividades de logística</b> .....	<b>28</b>
<b>4.2. Evaluación de la viabilidad técnica de plataformas logísticas</b> .....	<b>29</b>
<b>4.3. Evaluación de la localización de plataformas logísticas</b> .....	<b>31</b>
<b>5. MODELO DE ANÁLISIS</b> .....	<b>35</b>
<b>5.1. Modelo conceptual de investigación</b> .....	<b>35</b>
<b>6. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION</b> .....	<b>42</b>
<b>6.1. Análisis descriptivo de los datos</b> .....	<b>42</b>
<b>6.2. Resultados de la simulación</b> .....	<b>43</b>
<b>7. CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACION</b> .....	<b>44</b>
<b>7.1. Conclusiones de la revisión de literatura</b> .....	<b>44</b>
<b>7.2. Conclusiones de los resultados de la simulación</b> .....	<b>44</b>
<b>7.3. Implicaciones para futuras investigaciones</b> .....	<b>45</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS</b> .....	<b>46</b>

### **Lista de Tablas**

Tabla 1. Nodos del modelo.....	38
Tabla 2. Ubicación de plataformas del modelo .....	38
Tabla 3. Costo de transporte por la vía férrea.....	38
Tabla 4. Costo de transporte por la vía férrea.....	39
Tabla 5. Capacidad de Operación.....	39

### Lista de Figuras

Figura 1. Cifras de transporte anual por carreteras .....	10
Figura 2. Cifras de transporte anual por carreteras .....	11
Figura 3. Mapa Corredor Centro del país – Costa caribe .....	18
Figura 4. Estadísticas carga modo aéreo Magdalena .....	20
Figura 5. Grafico Transporte de Carga modo Férreo (Productos varios) 2019 - 2020.....	21
Figura 6. Grafico Transporte de Carga Modo Férreo (Carbón) 2019 – 2020 .....	21
Figura 7. Grafico Transporte de Carga modo Terrestre (Origen magdalena) 2020 .....	22
Figura 8. Grafico Transporte de Carga modo Terrestre (destino Magdalena) 2020 .....	22
Figura 9. Árbol de problemas asociado con el problema de ubicación de instalaciones (FLP) .....	26
Figura 10. capacidad de operación férrea en el tramo La Dorada – Chiriguaná, de acuerdo con el material rodante disponible. ....	42

## **INTRODUCCIÓN**

Uno de los retos más importantes que tiene nuestro país para el incremento de su competitividad a nivel regional es poder integrar la infraestructura de los diferentes tipos de transporte con la cual se cuenta actualmente, con el fin de poder establecer una verdadera política de logística que permita ofrecer un servicio eficiente.

En el municipio de Ciénaga confluyen la Carretera troncal del caribe, la vía a Barranquilla y la Vía Férrea que parte desde la SPSM y une a la Costa Caribe con el interior del País, convirtiéndolo en un punto estratégico que permitiría integrar estos dos modos de transporte con los Puertos de Barranquilla y Santa Marta y en el cual la ubicación de una Plataforma Logística, permitiría ofrecer un servicio eficiente y sostenible que posibilite la movilización de cargas hasta el interior del país, a través de la infraestructura férrea existente.

En Colombia, a través del Documento CONPES 3982 Política Nacional Logística (PNL) se evidencia la necesidad de actualizar los lineamientos de la PNL, orientándolos hacia una nueva visión que incluya acciones en tres frentes: en primer lugar, para promover la intermodalidad en el país, se proponen mecanismos para la modernización de la infraestructura y la productividad en la prestación de los servicios de transporte de carga por los modos carretero, férreo, fluvial, aéreo y marítimo nacional; así como el desarrollo de conexiones eficientes entre estos modos, mediante el desarrollo de infraestructura logística especializada (ILE) para la provisión de valor agregado de servicios logísticos en las diversas apuestas productivas del país.

Se pretende diseñar una propuesta de **“ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA LOGÍSTICA EN CIÉNAGA-MAGDALENA”**, que permita identificar las oportunidades de integración entre, la infraestructura férrea existente (Tramo Santa Marta – Chiriguana y Chiriguana – La Dorada), los Puertos de Santa Marta y Barranquilla y las carreteras que unen estas ciudades, mostrando las ventajas competitivas que una operación de este tipo pueda ofrecer a los usuarios del servicio de transporte de carga y al público en general.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Evaluar la viabilidad de la implementación de una Plataforma Logística que sea posible validar experimentalmente a través de un modelo de simulación, donde se evidencie la articulación de los medios de transporte hoy existentes y disponibles en la costa caribe colombiana.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar las principales variables que afectan el modelo seleccionado.
- Seleccionar un modelo de evaluación de la viabilidad, para la implementación de una Plataforma Logística ubicada en el Municipio de Ciénaga (Magdalena).
- Comprobar de manera practica la implementación de una plataforma logística en el municipio de Ciénaga Magdalena, a través de un modelo cuantitativo.

## **1. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Existen diferentes razones por las cuales se decide desarrollar una investigación enmarcada en la viabilidad de la implementación de una plataforma logística, las cuales se describen a continuación:

La ubicación estratégica del Municipio de Ciénaga, que le permitiría convertirse en un punto donde confluyen las cargas que se transportan desde los Puertos de Santa Marta, Barranquilla y Cartagena hacia el interior del país y viceversa, aprovechando la infraestructura para el transporte terrestre existente.

El interés de empresas privadas, como Ferrocarriles del Norte de Colombia, en fortalecer su portafolio de servicios, a través de alternativas de integración y complementación de diferentes modos de transporte, aprovechando la infraestructura de transporte existente en nuestra región y las experiencias adquiridas durante los últimos dos años con la movilización de trenes de carga diferente al carbón.

La implementación de un proyecto de ferrocarril que una a Cartagena, Barranquilla y Santa Marta, con conexión directa a la Red Férrea del Atlántico, tal como está descrito en el Plan Maestro Ferroviario del Gobierno Nacional, actualmente en fase de estructuración, fortalece aún más la importancia de contar con una plataforma de este tipo en un punto estratégico como lo es el Municipio de Ciénaga.

## 2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1. Estructura, desempeño logístico y competitividad del transporte de carga en Colombia.

Antes de analizar nuestro desempeño en materia logística a nivel nacional es importante echar un vistazo a las cifras de carga moviliza desde y hacia el departamento del magdalena, que es donde se estudia la viabilidad de este proyecto.

Hablar del transporte por carretera que es uno de los modos por donde más se moviliza la carga internamente, podemos interpretar según datos del ministerio de transporte que las cifras del año inmediatamente anterior para el departamento aún siguen siendo bajas en comparación con otros departamentos vecinos y otras regiones del país.

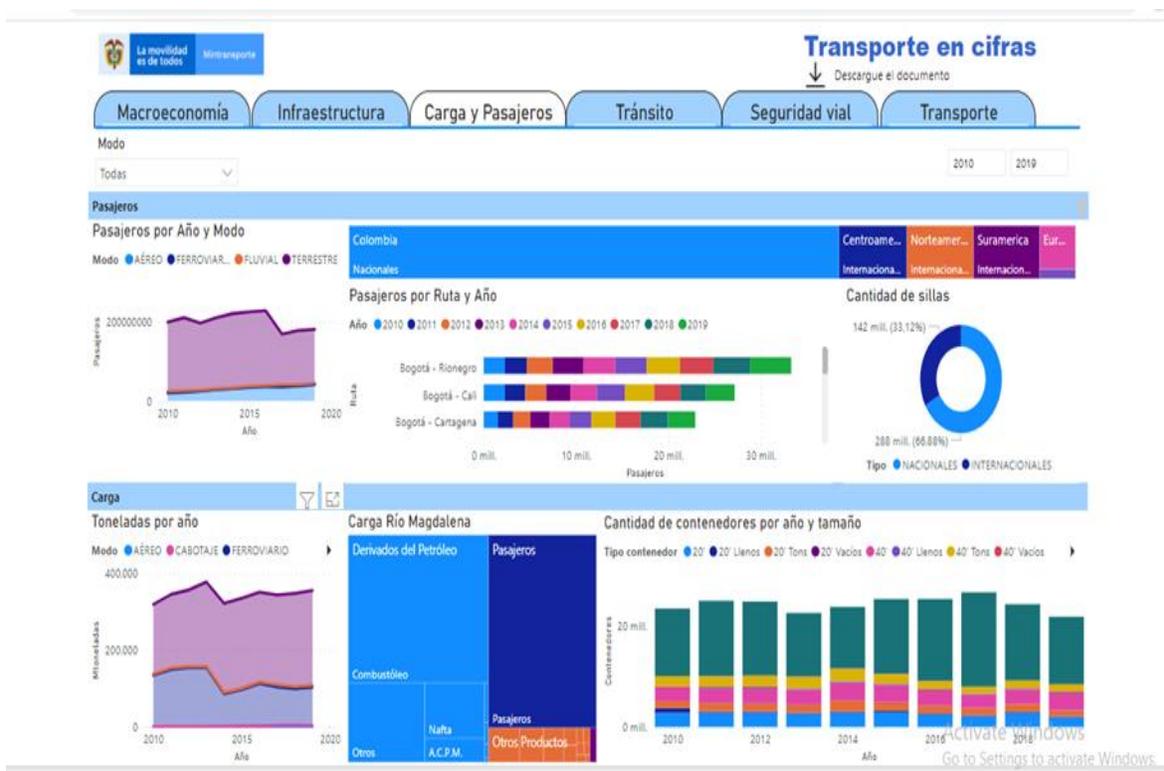
Figura 1. Cifras de transporte anual por carreteras

Origen	Destino	Cantidad
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	BOGOTA BOGOTA D. C.	1.454.496,08
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	GUADALAJARA DE BUGA VALLE DEL CAUCA	1.438.088,19
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	CALI VALLE DEL CAUCA	1.109.715,64
CARTAGENA BOUVAR	BOGOTA BOGOTA D. C.	1.079.781,38
CUCUTA NORTE DE SANTANDER	BARRANQUILLA ATLANTICO	889.177,82
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	YUMBO VALLE DEL CAUCA	857.555,44
TOCANCIPA CUNDINAMARCA	BOGOTA BOGOTA D. C.	833.603,02
SANTA MARTA MAGDALENA	BUCARAMANGA SANTANDER	692.214,34
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	PALMIRA VALLE DEL CAUCA	691.207,32
CARTAGENA BOUVAR	BARRANQUILLA ATLANTICO	562.897,54
BARRANQUILLA ATLANTICO	BOGOTA BOGOTA D. C.	562.547,31
YUMBO VALLE DEL CAUCA	BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	527.981,05
YUMBO VALLE DEL CAUCA	CALI VALLE DEL CAUCA	488.739,37
CARTAGENA BOUVAR	MEDELLIN ANTIOQUIA	476.797,57
BOGOTA BOGOTA D. C.	MEDELLIN ANTIOQUIA	438.247,26
BARRANQUILLA ATLANTICO	CARTAGENA BOUVAR	435.796,77
FUNZA CUNDINAMARCA	BOGOTA BOGOTA D. C.	429.042,92
SANTA MARTA MAGDALENA	FUNZA CUNDINAMARCA	416.812,86
SONSON ANTIOQUIA	MEDELLIN ANTIOQUIA	398.354,81
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	YOTOCO VALLE DEL CAUCA	384.846,82
BOGOTA BOGOTA D. C.	CALI VALLE DEL CAUCA	366.842,93
BOGOTA BOGOTA D. C.	BARRANQUILLA ATLANTICO	351.565,75
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	MEDELLIN ANTIOQUIA	350.131,32
SANTA MARTA MAGDALENA	GRON SANTANDER	345.697,21
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	BOGOTA BOGOTA D. C.	1.454.496,08
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	GUADALAJARA DE BUGA VALLE DEL CAUCA	1.438.088,19
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	CALI VALLE DEL CAUCA	1.109.715,64
CARTAGENA BOUVAR	BOGOTA BOGOTA D. C.	1.079.781,38
CUCUTA NORTE DE SANTANDER	BARRANQUILLA ATLANTICO	889.177,82
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	YUMBO VALLE DEL CAUCA	857.555,44
TOCANCIPA CUNDINAMARCA	BOGOTA BOGOTA D. C.	833.603,02
SANTA MARTA MAGDALENA	BUCARAMANGA SANTANDER	692.214,34
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	PALMIRA VALLE DEL CAUCA	691.207,32
CARTAGENA BOUVAR	BARRANQUILLA ATLANTICO	562.897,54
BARRANQUILLA ATLANTICO	BOGOTA BOGOTA D. C.	562.547,31
YUMBO VALLE DEL CAUCA	BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	527.981,05
YUMBO VALLE DEL CAUCA	CALI VALLE DEL CAUCA	488.739,37
CARTAGENA BOUVAR	MEDELLIN ANTIOQUIA	476.797,57
BOGOTA BOGOTA D. C.	MEDELLIN ANTIOQUIA	438.247,26
BARRANQUILLA ATLANTICO	CARTAGENA BOUVAR	435.796,77
FUNZA CUNDINAMARCA	BOGOTA BOGOTA D. C.	429.042,92
SANTA MARTA MAGDALENA	FUNZA CUNDINAMARCA	416.812,86
SONSON ANTIOQUIA	MEDELLIN ANTIOQUIA	398.354,81
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	YOTOCO VALLE DEL CAUCA	384.846,82
BOGOTA BOGOTA D. C.	CALI VALLE DEL CAUCA	366.842,93
BOGOTA BOGOTA D. C.	BARRANQUILLA ATLANTICO	351.565,75
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	MEDELLIN ANTIOQUIA	350.131,32
SANTA MARTA MAGDALENA	GRON SANTANDER	345.697,21
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	BOGOTA BOGOTA D. C.	1.454.496,08
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	GUADALAJARA DE BUGA VALLE DEL CAUCA	1.438.088,19
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	CALI VALLE DEL CAUCA	1.109.715,64
CARTAGENA BOUVAR	BOGOTA BOGOTA D. C.	1.079.781,38
CUCUTA NORTE DE SANTANDER	BARRANQUILLA ATLANTICO	889.177,82
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	YUMBO VALLE DEL CAUCA	857.555,44
TOCANCIPA CUNDINAMARCA	BOGOTA BOGOTA D. C.	833.603,02
SANTA MARTA MAGDALENA	BUCARAMANGA SANTANDER	692.214,34
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	PALMIRA VALLE DEL CAUCA	691.207,32
CARTAGENA BOUVAR	BARRANQUILLA ATLANTICO	562.897,54
BARRANQUILLA ATLANTICO	BOGOTA BOGOTA D. C.	562.547,31
YUMBO VALLE DEL CAUCA	BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	527.981,05
YUMBO VALLE DEL CAUCA	CALI VALLE DEL CAUCA	488.739,37
CARTAGENA BOUVAR	MEDELLIN ANTIOQUIA	476.797,57
BOGOTA BOGOTA D. C.	MEDELLIN ANTIOQUIA	438.247,26
BARRANQUILLA ATLANTICO	CARTAGENA BOUVAR	435.796,77
FUNZA CUNDINAMARCA	BOGOTA BOGOTA D. C.	429.042,92
SANTA MARTA MAGDALENA	FUNZA CUNDINAMARCA	416.812,86
SONSON ANTIOQUIA	MEDELLIN ANTIOQUIA	398.354,81
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	YOTOCO VALLE DEL CAUCA	384.846,82
BOGOTA BOGOTA D. C.	CALI VALLE DEL CAUCA	366.842,93
BOGOTA BOGOTA D. C.	BARRANQUILLA ATLANTICO	351.565,75
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	MEDELLIN ANTIOQUIA	350.131,32
SANTA MARTA MAGDALENA	GRON SANTANDER	345.697,21
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	BOGOTA BOGOTA D. C.	1.454.496,08
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	GUADALAJARA DE BUGA VALLE DEL CAUCA	1.438.088,19
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	CALI VALLE DEL CAUCA	1.109.715,64
CARTAGENA BOUVAR	BOGOTA BOGOTA D. C.	1.079.781,38
CUCUTA NORTE DE SANTANDER	BARRANQUILLA ATLANTICO	889.177,82
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	YUMBO VALLE DEL CAUCA	857.555,44
TOCANCIPA CUNDINAMARCA	BOGOTA BOGOTA D. C.	833.603,02
SANTA MARTA MAGDALENA	BUCARAMANGA SANTANDER	692.214,34
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	PALMIRA VALLE DEL CAUCA	691.207,32
CARTAGENA BOUVAR	BARRANQUILLA ATLANTICO	562.897,54
BARRANQUILLA ATLANTICO	BOGOTA BOGOTA D. C.	562.547,31
YUMBO VALLE DEL CAUCA	BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	527.981,05
YUMBO VALLE DEL CAUCA	CALI VALLE DEL CAUCA	488.739,37
CARTAGENA BOUVAR	MEDELLIN ANTIOQUIA	476.797,57
BOGOTA BOGOTA D. C.	MEDELLIN ANTIOQUIA	438.247,26
BARRANQUILLA ATLANTICO	CARTAGENA BOUVAR	435.796,77
FUNZA CUNDINAMARCA	BOGOTA BOGOTA D. C.	429.042,92
SANTA MARTA MAGDALENA	FUNZA CUNDINAMARCA	416.812,86
SONSON ANTIOQUIA	MEDELLIN ANTIOQUIA	398.354,81
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	YOTOCO VALLE DEL CAUCA	384.846,82
BOGOTA BOGOTA D. C.	CALI VALLE DEL CAUCA	366.842,93
BOGOTA BOGOTA D. C.	BARRANQUILLA ATLANTICO	351.565,75
BUENAVENTURA VALLE DEL CAUCA	MEDELLIN ANTIOQUIA	350.131,32
SANTA MARTA MAGDALENA	GRON SANTANDER	345.697,21
<b>Total</b>		<b>108.721.010,11</b>

Fuente: Ministerio de Transporte 2020.

En la siguiente grafica podemos ver el comportamiento de la carga general resumido en los diferentes modos de transporte, incluyendo pasajeros, los cuales son datos del ministerio de transporte que nos parecen relevantes como antecedentes al estudio del porqué del proyecto.

Figura 2. Cifras de transporte anual por carreteras



Fuente: Ministerio de Transporte 2020.

Por otra parte y según cifras y datos oficiales durante el primer semestre de 2020, el Puerto de Santa Marta movilizó 2.964.741 toneladas de carga, incluyendo gráneles líquidos, carbón, carga general, carga rodada y contenedorizada. La Sociedad Portuaria de Santa Marta destacó que debido a la pandemia del coronavirus (Covid-19), las cargas generales tuvieron leves variaciones en sus volúmenes, algunas al alza y otras a la baja.

Pese a las medidas de aislamiento preventivo que inciden en el traslado de productos y el alza del dólar que impacta en las importaciones, la movilización de carga de gráneles a través del puerto aumentó en un 4,8% desde enero a junio, alcanzando los 1.246.259 de toneladas.

Los gráneles líquidos también obtuvieron resultados favorables, alcanzando un 109,2% de cumplimiento presupuestal entre enero y junio de este año.

En cuanto a la movilización de contenedores, las cifras pasaron de 53.867 cajas en los primeros seis meses de 2019 a 68.809 cajas en el primer semestre de 2020, lo que representó un crecimiento del 27,7%.

Dentro de los productos que más se exportaron desde el Puerto de Santa Marta se encuentran el banano (5%), el plátano (15%), las flores (8%), y las frutas congeladas y el café (51%).

Debido a la caída del precio internacional, las cargas de carbón registraron una tendencia a la baja. Entre enero y junio se logró un cumplimiento del presupuesto de 81,1%.

En tanto, la carga general y los vehículos alcanzaron un cumplimiento del presupuesto de 82,7% y 92%, respectivamente. Cabe resaltar que la carga general se ha visto afectada por el retraso en el inicio de la ejecución de proyectos en el país a raíz de la pandemia.

La cantidad de carga movilizada durante los primeros seis meses de 2020 permitió al Puerto de Santa Marta ubicarse en el segundo puesto de servicio público con mayor movilización de contenedores, con un 23% de participación en el mercado de la costa atlántica. [1]

Lo anterior literalmente nos demuestra que la viabilidad del proyecto se ajusta a las necesidades de la región, ya que, si bien es cierto que algunos sectores en el manejo de la carga están mejorando, otros por el contrario se han estancado y su crecimiento ha sido muy lento, lo que refleja la necesidad de una complementariedad en sistemas de transporte multimodal.

Ahora bien, en materia de logística, y competitividad del transporte de carga, Colombia está en permanente búsqueda de una mejora continua, de ahí que uno de los avances más importantes que ha realizado el país es la elaboración de un documento Conpes 3547, denominado “Plan Nacional de Logística”, que fue aprobado en el 2008, y que definió los lineamientos de política, las necesidades en materia de infraestructura y el financiamiento para el desarrollo de acciones que permitieran aumentar la competitividad, mediante la adopción de las mejores prácticas de transporte y logística.

De acuerdo con el Gobierno Central, con base en este plan, Colombia realizó en el 2009 inversiones superiores a COP55 billones en infraestructura vial, aérea, portuaria, férrea y fluvial, al mismo tiempo que ha buscado mejorar el entorno institucional, enfocado en el desarrollo de plataformas y corredores logísticos, y uso de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC).

Según el Índice de Desempeño Logístico elaborado por el Banco Mundial (BM), Colombia avanzó 10 posiciones, con respecto al 2007, al pasar del puesto 82 al 72, entre 155 países. [2]

Este informe evaluó seis aspectos fundamentales sobre este tema como son: la competencia y calidad de los servicios logísticos, la calidad en infraestructura (puertos,

vías), oportunidad en el despacho y la llegada a tiempo en el destino, la eficiencia y eficacia de los servicios aduaneros, la capacidad de seguimiento y localización de las mercancías y la facilidad de contratación de servicios de transporte a precios competitivos.

No obstante, el Índice de Desempeño Logístico también pone en evidencia temas clave en los que el país debe trabajar, como es el caso del costo y disponibilidad de envíos internacionales donde cayó 37 puestos, al descender del 75, en el 2007, al 112, en el 2010.

El retraso en infraestructura se ha traducido en mayores costos para las empresas, como lo refleja la Encuesta Nacional de Logística 2008, realizada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), en donde se indica que el 37% de los costos logísticos en Colombia está concentrando en el transporte interno, un 33%, en el transporte internacional; un 11%, en costos indirectos; un 8%, en costos en puerto; un 5%, en costos en el contenedor; un 4%, en costos aduaneros, y un 2%, en costos de la documentación[3]

Pero al problema de la infraestructura hay que añadirle también que la edad promedio del parque automotor es de 24,4 años, según datos del Ministerio de Transporte, lo que indica que se requiere de un sector moderno y competitivo, además de un plan de estímulo que facilite la disminución de la informalidad del sector, ya que solo el 17% de los vehículos es propiedad de empresas formalmente constituidas, mientras que un 76% corresponde a carros de propiedad de personas naturales.

Todos estos factores hacen que en este país sudamericano la logística pueda representar hasta el 20% del valor del producto final, lo que le resta competitividad en los mercados internacionales.

Colombia podría convertirse en plataforma logística de Latinoamérica, gracias a su ubicación estratégica, la descentralización regional que ha desarrollado y la aptitud intermodal con la que cuenta, para esto la última actualización que sugiere la nueva política nacional de logística a través del Conpes 3982 busca el fortalecimiento de manera integral para las importaciones y exportaciones del país en función de tiempos y costos haciendo más competitivos nuestros procesos y servicios logísticos, es importante anotar que dicha implementación comenzaría a ejecutarse entre los años 2020 y 2024.

Pero para que esto sea posible, Colombia tiene que aprobar tres asignaturas pendientes: reconstruir y reconvertir completamente la red ferroviaria, mejorar el acceso a los puertos y facilitar todas las operaciones de comercio.

Precisamente, estos aspectos están incluidos en la visión 2032 del documento Conpes 3527, que definió la Política Nacional de Logística. Allí se indica que en el 2032 Colombia será uno de los tres mejores países en logística de la región y, para ello, se plantea como objetivo la construcción de carreteras que unan a los puertos y aeropuertos con los centros de producción, políticas de desarrollo y mejoramiento de la infraestructura aeroportuaria y pasos de frontera, trámites de comercio exterior expeditos y estímulos a la inversión privada.

A su vez, sugiere la creación de 20 plataformas logísticas que ayuden a minimizar los costos que hoy se tienen con el rompimiento de la continuidad en la cadena de abastecimiento en Colombia. Entre los diferentes tipos se encuentran:

- Áreas logísticas de distribución urbana y consolidación de cargas.
- Áreas logísticas de apoyo en frontera.

- Áreas logísticas de consolidación de cargas regionales.
- Zonas de Actividad Logística (ZAL) portuarias.
- Puertos secos.
- Centros de Carga Aérea.
- Plataformas multimodales.

En definitiva, el desarrollo de proyectos e iniciativas que mejoren la logística de mercancías, deberá ser una prioridad del gobierno y el sector privado en los próximos años, si se busca mejorar la competitividad de los productos colombianos en mercados internacionales.

## **2.2. Integración de sistemas y modos de transporte de carga en el Caribe colombiano.**

Con la invención de la rueda hace más de 4000 A.C en la antigua Mesopotamia el desarrollo del comercio e intercambios entre culturas se benefició en gran proporción en términos de velocidad, calidades y cantidades respecto a lo transportando. Hoy observamos como al igual que la producción y el almacenamiento el transporte y distribución son estructurales en la cadena de suministro para comunicar a proveedores y clientes. En esa dirección el desarrollo de los medios de transporte, la infraestructura y los medios que la integran validan permanentemente como sus capacidades en volumen y peso terminan constituyéndose en las mejores alternativas para reducir las estructuras de costos de los productos y llegar a los mercados con mayores y mejores índices de competitividad.

Hoy la Costa norte del país y específicamente el departamento del Magdalena gozan de una serie de condiciones peculiares que facilitan las condiciones para que el transporte de

mercancía se pueda realizar de una manera eficiente articulando las operaciones logísticas con las plantas y centros de producción, los centros de distribución y bodegas con las vías e infraestructura habilitada y en proyección a través de los modos y medios que acceden a esta zona del país como los medios Marítimos con rutas al principal socio comercial y potencia mundial (Estados Unidos) así como al bloque económico más importante del planeta (Comunidad Económica Europea) sobre el Atlántico y Fluviales por el mar caribe y cercanías a río magdalena principal arteria hidrológica que conecta la parte norte del Colombia por donde ingresan y salen productos, maquinaria y tecnología del y al resto del mundo con los departamentos donde se concentra la mayor producción nacional y aporte al PIB. También el privilegio de contar corredores viales terrestres por carretera y ferrovías así mismo aéreos que hoy representa un total de tramos de la siguiente manera:

- Modo carretero: Bogotá - El Rosal – El Vino - La Vega – Nocaima - Villeta - Guaduas - Puerto Salgar - Puerto Boyacá - La Lizama - San Alberto – Aguachica – Pelaya – Bosconia – Fundación – Ciénaga - Pueblo Viejo – Barranquilla. Incluye los ramales: Barranquilla - Puerto Colombia - Santa Verónica – Lomita Arena – Cartagena – Turbaco Barranquilla – Galapa – Pital – Baranoa – Campeche Sabanalarga – Molineros -Arroyo de piedra – Luruaco – Péndales - Santa Catalina – Clemencia – Bayunca – Cartagena Turbaco – Arjona – Carreto - San Jacinto - Carmen de bolívar – Ovejas – Corozal – Sincelejo. Aguachica – Gamarra - Puerto Capulco. Soledad – Malambo - Santo tomas - Palmar de Varela – Ponedera - Campo de la cruz – Calamar – Carreto - San Juan Nepomuceno - El Carmen de Bolívar – Corozal – Sincelejo – Chinú – Sahagún – Cerete – Montería Cruz del Viso - María la baja - San Onofre - Tolú Viejo – Sincelejo. Tolú Viejo - Santiago de tolú – Lórica. Lórica - San Bernardo del viento –



Fuente: Ministerio de Transporte 2020.

Este proyecto en el desarrollo de la metodología de la investigación no solo propone un método cuantitativo que permita evaluar la viabilidad en construcción y desarrollo de la plataforma, sino que también establezca indicadores que midan los resultados y beneficios que trae el componer un sistema donde todos los medios se comuniquen óptimamente.

El contexto para este análisis obliga así estudiar minuciosamente todas las políticas y planes de orden nacional que proponen la integración de los medios como una de las decisiones más estructurales a la hora de buscar una mayor competitividad. En ese sentido el Ministerio de Transporte y el Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES que a través de sus diagnósticos y planes de integración regional brindan las herramientas para que estas plataformas logísticas y corredores logísticos evolucionen a favor de la eficacia y eficiencia de estas regiones.

El 21 de noviembre de 1952 el Gobierno Nacional celebró con la empresa Campeonon Bernard de Colombia Limitada, un contrato para la construcción de la primera obra de expansión portuaria destinada para carga general que beneficiaría al Comercio Exterior Colombiano, pero principalmente al sector agrícola del departamento del Magdalena específicamente al Bananero.

Esta empresa ejecutó varios contratos en el Puerto de Santa Marta entre 1952 y 1960, como la construcción de los muelles 4 y 5 (hoy 6 y 7) para banano principalmente (Puerto de Santa Marta, 2021) y allí nace la necesidad de armonizar con un medio capaz de generar economías de escala para el transporte del Banano que evitara demoras por los grandes volúmenes de carga del mismo y la transferencia a las motonaves que finalmente lo

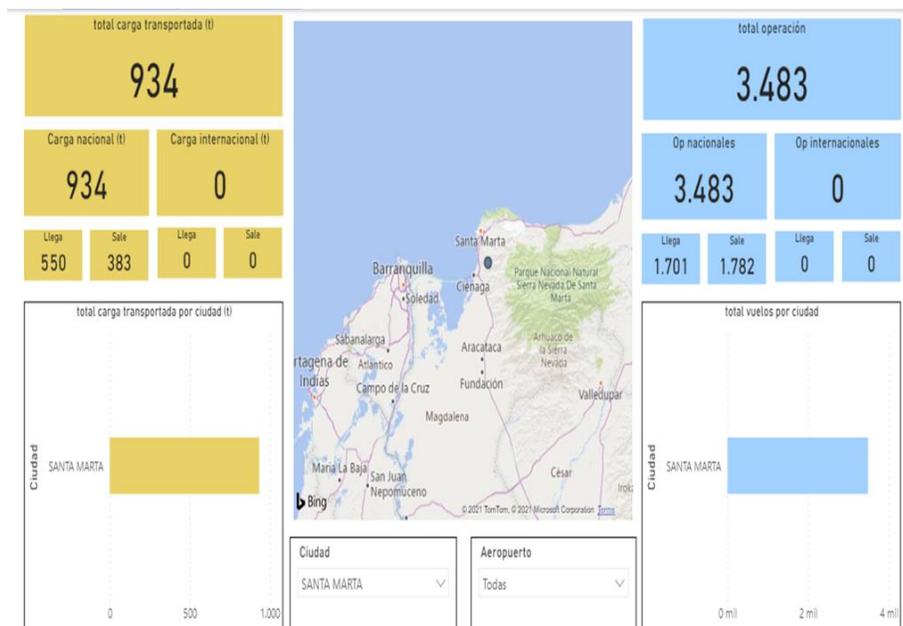
transportarían a la parte del norte del continente americano que para la época reportaba una alta demanda de la fruta. Ante este panorama fue evidente la evolución experimentada por la infraestructura portuaria, que además supuso una maraña de hierro (líneas para trenes) constituyéndose así en las terminales férreas que entraban a galpones de operaciones de descargue, bodegas y talleres, configurando una zona de arduo trabajo donde se laboraba día y noche en la exportación del banano (Puerto de Santa Marta, 2021)

Este panorama demuestra como desde la mediados del siglo XX los distintos medios para el transporte de carga han conciliado entre si su infraestructura y capacidades para responder en cantidades, calidades, lugar y tiempo a los consumidores finales.

En el caso del caribe colombiano y particularmente de la Magdalena para el transporte de carga, tenemos:

- Transporte de carga modo aéreo:

Figura 4. Estadísticas carga modo aéreo Magdalena



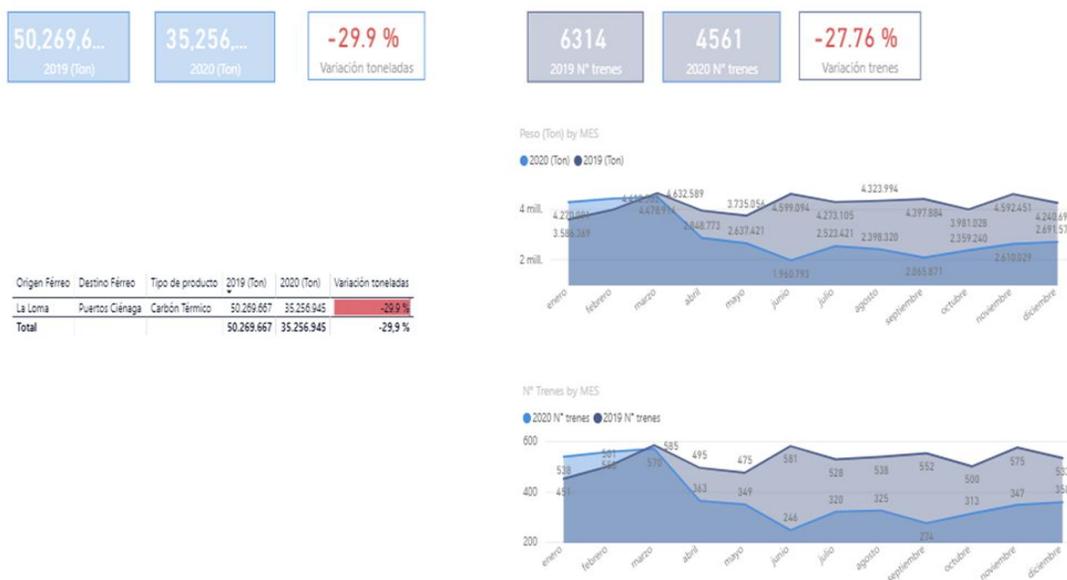
Fuente Ministerio de Transporte 2020

- Transporte de carga modo férreo:

Figura 5. Grafico Transporte de Carga modo Férreo (Productos varios) 2019 - 2020



Figura 6. Grafico Transporte de Carga Modo Férreo (Carbón) 2019 – 2020



Fuente: Ministerio de Transporte 2021

- Transporte de carga modo terrestre:

Figura 7. Grafico Transporte de Carga modo Terrestre (Origen magdalena) 2020

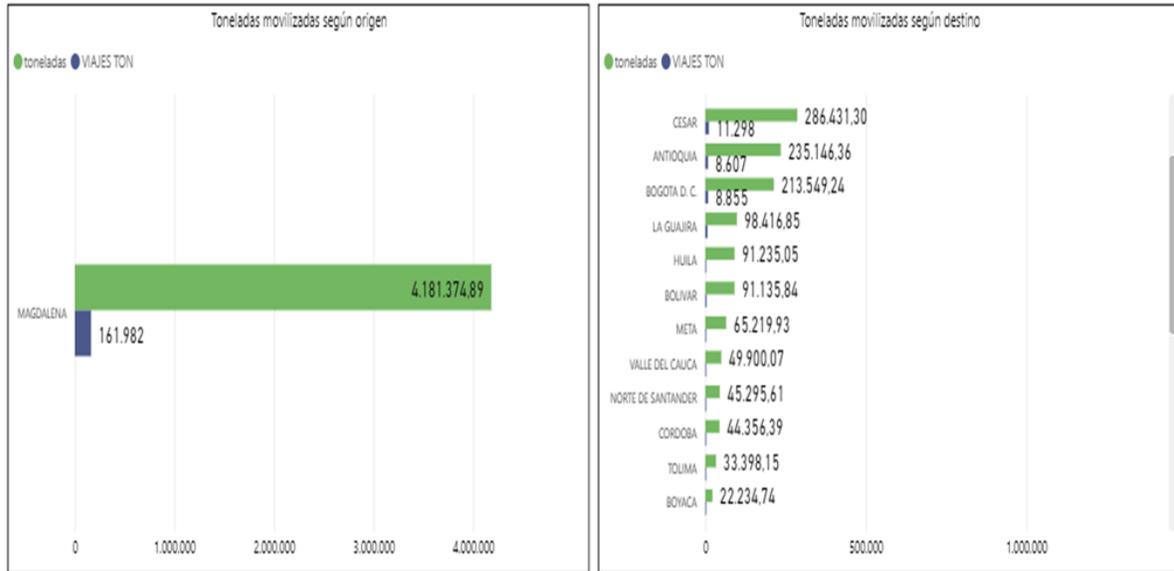
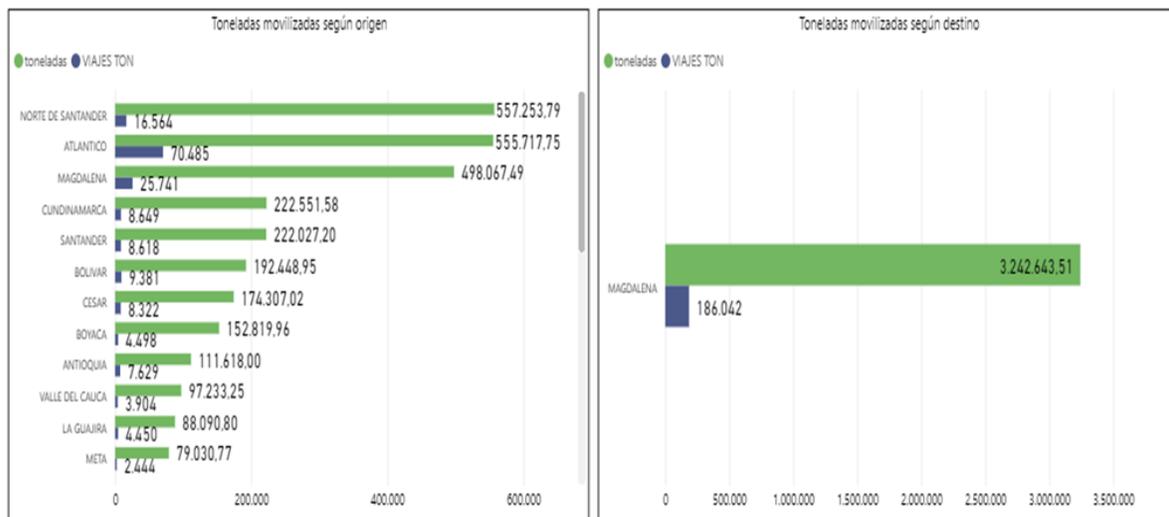


Figura 8. Grafico Transporte de Carga modo Terrestre (destino Magdalena) 2020



Fuente: Ministerio de Transporte 2021.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Clústeres y plataformas logísticas**

Hablar de plataformas logísticas en Colombia teniendo en cuenta su situación actual, deja en evidencia que hace falta sincronía entre los actores que participan directa o indirectamente de dichos procesos, lo que significa que en comparación con otros países no somos competitivos en este sector y se nota cada vez más la distancia en función de la prestación de este tipo de servicios.

El problema de ubicación de instalaciones investiga dónde ubicar un conjunto de instalaciones en un área geográfica o de influencia con el objetivo de minimizar los costos y satisfacer algunas restricciones, incluyendo la cobertura de algunos puntos de demanda de manera eficiente, contemplando la flexibilidad y evolución de esta última en el tiempo (Hale & Beberg, 2003).

El libre comercio ha sido una de las razones por las cuales el comercio internacional se ha disparado de manera considerable entre los países del mundo, como una herramienta para que las naciones exporten su producción a países que la necesiten y de igual manera puedan obtener de otros países lo que en el país nacional es escaso, a través del régimen aduanero de importación, con el cual se pueden comercializar bienes y servicios; dichas partes realizan negociaciones en las cuales tratan de reducir las barreras al comercio, como los aranceles, lo que hace más atractivo al país para la comercialización de ciertos productos que se encuentren bajo una partida arancelaria específica, además, los sistemas de transporte de carga han evolucionado a través del tiempo adaptándose al entorno y las circunstancias que hacen del comercio

internacional, más que una ciencia, un arte muy complejo, interesante y necesario en el mundo, debido al alto nivel de competitividad que hoy por hoy se presenta, consecuencia de la globalización (Ferreira, s.f.). Esto claramente necesita también que dentro de la cadena logística que existan locaciones que permitan la integración de la infraestructura de transporte y sus diferentes modos, logrando reducir en costo y tiempo las operaciones de cargue, descargue y transporte de mercancías.

Como consecuencia de esto, las empresas que realizan acciones relacionadas con el comercio internacional alrededor del mundo, han venido desarrollando estrategias para contrarrestar las necesidades que se presentan al momento del ingreso y salida de mercancías en un territorio o país específico. Dichas necesidades se basan en reducción de tiempo al momento de la recepción y entrega de carga en lugares habilitados para la nacionalización de la misma, y la disminución de costos de almacenamiento, los cuales se verán reflejados de manera positiva en el precio del producto final, lo que promueve la competitividad entre la mayoría de actores de la cadena logística de valor, donde cada uno de ellos se ve beneficiado, directa o indirectamente; lo anterior se le conoce hoy en día como Plataforma Logística (PL) (Orjuela, Castro, Suspes, E. 2005).

Si bien es cierto que existen diversos tipos de plataformas logísticas por sus actividades o servicios prestados, es importante analizar bien el espacio geográfico para la viabilidad de la misma, donde quienes hagan parte de ese futuro clúster se beneficien plenamente de sus bondades y el entorno sea el idóneo para el sector económico donde aplica.

Podemos ver en el horizonte que a pesar de los problemas de infraestructura que se presentan en Colombia, para ser competitivos en el sector, la implementación de estos sistemas logísticos es una oportunidad para mejorar muchas variables que términos de indicadores nos dejan mal parados frente a la competencia, como es el caso de los altos costos de transporte, que han llegado a convertirse el porcentaje más alto de la operación.

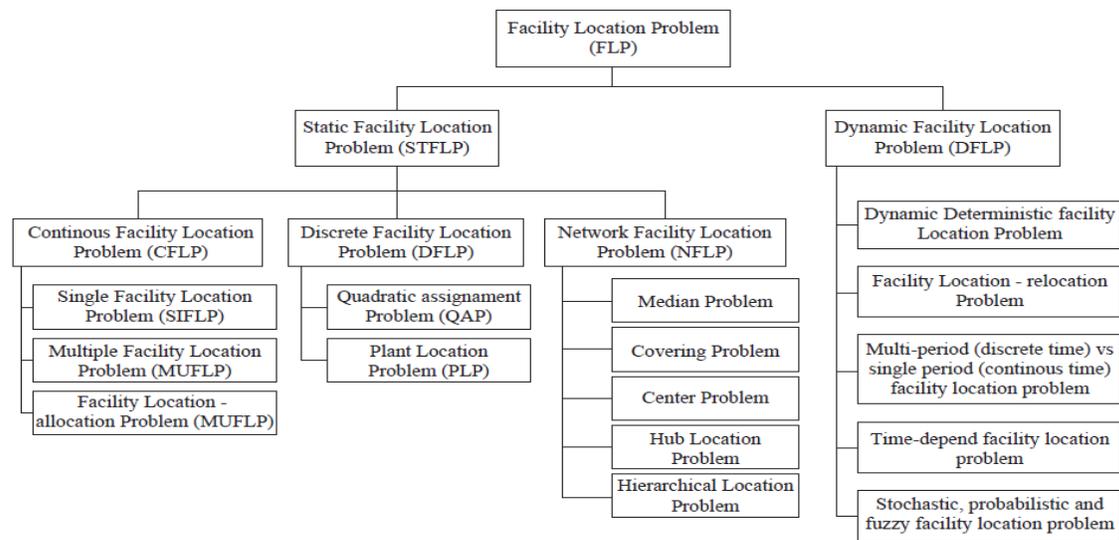
### **3.2. Modelos matemáticos y de simulación**

Para la evaluación de la implementación de plataformas logísticas existen diferentes modelos matemáticos y de simulación.

Actualmente el problema de localización de instalaciones (FLP) se define por dos elementos clásicos en este tipo de formulación: tiempo y espacio, en los que se incorporan los conceptos de área geográfica de influencia y tiempos de viaje de una nueva ubicación a una existente (Arabani & Farahani, 2011). De acuerdo con la literatura, se trata básicamente de identificar una ubicación que permita minimizar los costos y el tiempo empleado en las operaciones logísticas y de transporte. Este problema ha sido analizado por diferentes autores y asociado a diferentes tipos de operaciones logísticas.

A continuación se muestra el árbol de problemas asociado con el problema de la localización de instalaciones (FLP), desarrollado por (Arabani & Farahani, 2011) y que permite identificar los diferentes tipos de enfoques que se pueden dar al estudio de este problema.

Figura 9. Árbol de problemas asociado con el problema de ubicación de instalaciones (FLP)



Fuente: Arévalo, Santofimio, Rocha y Adarme, 2018.

Como complemento, las funciones de optimización disponibles en la literatura sobre el tema muestran diferentes tipos de objetivos disponibles en aplicaciones que están enfocadas a minimizar costos, distancia, tiempo y riesgo, maximizando ganancias y disponibilidad de servicios así como objetivos multicriterio (Arabani Y Farahani, 2011). Asimismo, es posible determinar el uso de técnicas exactas, heurísticas, algoritmos específicos y métodos generales para la solución de este tipo de problemas (Arabani & Farahani, 2011).

## **4. REVISION DE LITERATURA**

### **4.1. Aglomeración espacial de las actividades de logística.**

El concepto de aglomeración de actividades de logística se entiende como la localización de actividades que se concentran en un punto geográficamente hablando y que dependen directa o indirectamente de este proceso, ya sea para bienes y/o servicios, lo que permite en muchos casos la reducción de costos de producción, de transporte y las ventanas de tiempo que son otro factor determinante en los procesos logísticos, este factor puede explicar las razones por las cuales algunas actividades económicas se ubican cercanas a sus fuentes de recursos o a sus mercados, mientras que otras se establecen en cualquier sitio, siempre que sea rentable, citado por (BalzaFranco & Paternina-Arboleda 2014), (Vera & Ganga, 2007).

Es evidente que la viabilidad del proyecto se refleje en estos conceptos teniendo como base la ubicación geográfica del municipio de Ciénaga Magdalena, el cual es interconector de diferentes departamentos y regiones del país a través de los diversos sistemas de transporte donde actualmente existen focos de desarrollo logístico como los puertos de Santa Marta y Barranquilla, así como las Zonas Francas, y las distintas compañías agroindustriales que se ubican en el sector.

Asimismo analizando las bondades del sector y la región también contamos con que la vía férrea actual circunda el aeropuerto de la ciudad lo que a su vez plantea una razón más para el aprovechamiento de esas fuentes cercanas a los nodos logísticos que son vitales para la viabilidad del proyecto.

Mediante el artículo 87 de la Ley 1450 de 2011 se definieron las Infraestructuras Logísticas Especializadas (ILE) o plataformas logísticas como áreas delimitadas en las que se realizan procesos logísticos de transporte, almacenamiento, distribución y servicios logísticos de valor agregado. Contemplan, entre otras, centros de carga aérea, zonas de actividades logísticas portuarias, puertos secos y zonas logísticas multimodales, zonas de carga terrestre [4]. Sin embargo, al no existir una normativa clara que determine las actuaciones de los entes tanto privados como gubernamentales y procedimientos que definan su estructuración y puesta en servicio, se ha presentado una marcada ausencia de proyectos ILE a nivel nacional, que se hayan llevado a feliz término hasta el día de hoy.

#### **4.2. Evaluación de la viabilidad técnica de plataformas logísticas**

Cuando hablamos de viabilidad técnica se hace referencia a que el estudio del proyecto resuelva las necesidades que son objeto de estudio, las plataformas logísticas en Colombia ha sido foco de desarrollo y progreso en su implementación.

En el artículo “planificación de la ubicación de los centros de carga intermodales” los autores hablan de que se pueden identificar tres pasos en el camino hacia el desarrollo de un nuevo centro de carga.

1. Generación de posibles soluciones para la ubicación del centro de carga.
2. Evaluar las soluciones para cada parte interesada y el nivel del sistema.
3. Experimentar con diferentes políticas y medidas para influir en las decisiones de las partes interesadas.

El proceso comienza con un análisis de los sitios de ubicación potenciales utilizando un problema de cobertura de conjuntos. El resultado es un número limitado de ubicaciones candidatas que se utilizarán en los siguientes pasos porque ya existe una red de conexiones ferroviarias y por carretera, así como un centro de transporte de mercancías intermodal. También es posible ampliar el centro de transporte de mercancías existente.[5]

El diseño de la red actual se toma como punto de partida para el análisis del problema.

El segundo paso es la evaluación de cada una de estas soluciones y tomar una decisión sobre qué ubicación es la más deseable. Este es un proceso complejo porque los distintos actores tienen diferentes objetivos. El propietario del problema, en este caso la agencia de transporte, tiene que encontrar una solución que sea aceptable para la mayoría de los actores y, al mismo tiempo, proteger el nivel de rendimiento general del sistema de transporte. Para el desempeño a nivel del sistema, uno puede imaginar, por ejemplo, el crecimiento económico de la región, pero también la confiabilidad del servicio de transporte. Ésta es una elección política. Debido a los posibles objetivos conflictivos de los actores, es de esperar que no haya una solución que agrada a todos.

En tercer lugar, se pueden aplicar diferentes instrumentos y medidas para alentar al proveedor de infraestructura a construir realmente el centro en el lugar que la agencia de transporte considere mejor. Al probar diferentes políticas, se pueden analizar sus efectos. Un nuevo centro de carga debe ser económicamente viable, por lo que debe alcanzarse un cierto volumen de transporte con un buen precio de transporte y manipulación para garantizar que el nuevo centro de carga intermodal sea una inversión beneficiosa. (Koen H. van Dam, Zofia Lukszo, Luis Ferreira y Ackchai Sirikijpanichkul).

Las plataformas logísticas multimodales que corresponden a nodos logísticos que conectan diferentes modos de transporte y lo primordial son los servicios de valor agregado a las actividades logísticas y a la carga. Este tipo de infraestructura se conoce también como infraestructura tipo hub, cuya implementación está relacionada con la existencia de un puerto con el propósito de aprovechar economías de escala en las rutas internacionales. (Lang).

El municipio de Ciénaga cumple con un entorno suficientemente atractivo para la implementación de una plataforma logística que puede suplir necesidades en el manejo de carga intermodal, sus características permiten el fácil acceso a los diferentes medios de transporte como carretero, férreo y marítimo, lo que conlleva a que su viabilidad permite desarrollar eficientemente procesos operativos logísticos en cuanto a los servicios prestados desde y hacia todo tipo de mercancías.

#### **4.3. Evaluación de la localización de plataformas logísticas**

Las relaciones comerciales que permanentemente se tejen entre proveedores y consumidores a lo largo y ancho de la cadena de suministro, hasta llegar al consumidor final se convierten en el escenario propicio para articular a cada uno de agentes, servicios y procesos que estructuran la red facilitando así especializar funciones, maximizar recursos y de manera eficiente responder en los mejores tiempos, cantidades, costos y calidades al cliente. En esos términos se diagnostica evidentemente la necesidad de desarrollar conectores como medios de transporte (Terrestres por carretera, terrestres por ferrovías, aéreos, marítimos e incluso fluviales) plataformas logísticas y corredores logísticos que optimicen los tiempos y costos de respuesta.

En primera instancia las empresas industriales (agroindustriales en su mayoría – productos semielaborados de consumo) demandan de materias primas, insumos y tecnología para transformar y ofertar productos al mercado, estos provienen de mercados extranjeros con los cuales de manera significativa Colombia ha firmado tratados de libre comercio y acuerdos de complementación económica como es el caso de Corea del Sur, los Estados Unidos y La Comunidad Económica Europea entre otros (Ministerio de Comercio Industria y Turismo 2020) precisamente por los volúmenes y pesos de carga importada se hace necesaria la empleabilidad de medios de transporte que faciliten la economía de escala redundando en los costos finales de los productos, esto sugiere así que el transporte marítimo aparezca en el macro proceso de transporte como el principal proveedor de este servicio pero también determinante así identificar a los puertos como nodos de transferencia de un sistema de navegación exterior a vías y medios de transporte interior.

¿Justo en ese sentido tenemos un primer punto que nos lleva a cuestionar como segmentar las cantidades transportadas para los distintos clientes sin que esto ocasione incremento en los costos de transporte, afectaciones a la movilidad del departamento y corredores viales y se responda de manera eficaz a cada consumidor y cliente final?

Documentos elaborados por la CEPE Conferencia Europea de Ministros de Transportes (CEMT) y la Comisión Europea (CE) de las Naciones Unidas, New York y Ginebra (2001) como también Europlatforms AEIE (2004) se refieren a los Esquemas de Transporte Combinado como la alternativa viable apoyada en Centros de Distribución – Plataformas para completar los entramados que gestionan la cadena de suministro. Basándose en elementos fundamentales como:

1. Los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) a nivel distrital, departamental y nacional (Planificación Territorial).
2. Calidad de la Oferta y Demanda del Transporte de acuerdo a las necesidades de territorio y su respuesta al país y exterior.
3. Articulación de los modos de transporte a través de los distintos medios – Intermodalismo – Multimodalismo.

Para de esta manera garantizar la competitividad de la región gestionando un flujo de transporte complementario y económico todo en función de las plataformas logísticas.

Entendiendo de esta manera: “Que La construcción de un Centro de Logística implica – desde el principio – una enorme inversión para la creación de grandes almacenes, sino también todos los de la intervención urbana y de servicios. Teniendo en cuenta que el Centro de Logística es una empresa a largo plazo que, al menos en el inicio de la fase, no representan un verdadero tentador negocio para los inversores privados, el apoyo financiero de las Autoridades Públicas se convierte en un elemento clave para su desarrollo. El Centro de Logística, en términos puramente del tamaño que puede alcanzar (millones de metros cuadrados) y los efectos que tiene sobre la economía local, se convierte en parte de un mayor territorial, plan de desarrollo, que constituyen la base de toda la infraestructura y territorial de aplicación” (Europlatforms AEIE, enero 2004)

Lo anterior invita no sólo desde la óptica de la academia a plantear modelos cuantitativos que respondan a estas realidades, sino que exista una sinergia entre el capital privado y el estado para sacar adelante este tipo de proyectos que sin lugar a dudas representa mayores beneficios de cara a un modelo integrado de logística mucho mejor que

los esfuerzos hoy mostrados por sistemas independientes. A su vez la concentración de actividades, recursos, mano de obra, transporte e infraestructura especializa las tareas antes que nodos operando de manera independiente y finalmente la planeación territorial y el aporte mancomunado del estado la inversión primada y los estudios científicos de la academia son impajaritables para la construcción y funcionamiento de las plataformas logísticas y la intermodalidad.

Concentrarse en un sistema cuyos medios de transporte y articulación con proveedores se haga de manera independiente nos conduce a perder la posibilidad de lograr más competitividad en el magdalena, se hace necesario el desarrollo y afianzamiento de corredores logísticos y plataformas que de la mano del acompañamiento del ministerio de transporte y los accionistas particulares, así como organismos gubernamentales y no gubernamentales reúnan fuerzas para lograr cubrir la totalidad de los servicios a la carga y personas a costos bajos y con calidad certificada por los estándares del sector. Actualmente, en Colombia, el escaso uso del transporte intermodal incrementa los costos logísticos en comparación con los países miembros de la OCDE (Ministerio de Transporte, 2015).

## **5. MODELO DE ANÁLISIS**

### **5.1. Modelo conceptual de investigación**

El modelo utilizado de análisis para la viabilidad de una plataforma logística en el municipio de Ciénaga (Magdalena), se basa en el estudio realizado por Arévalo, Santofimio, Rocha y Adarme en 2018 y que se titula “Emplazamiento de plataformas logísticas para el desarrollo armónico de la red intermodal en el país”, en el cual los autores se analiza el transporte de carga desde le Costa Caribe hacia el interior del país, a través de la integración de los modos por carretera y fluvial.

El modelo propuesto consiste en determinar la ubicación óptima de una serie de plataformas logísticas que garantizan un sistema de integración y cooperación en estrategias de transporte para el país, en las cuales serán posibles operaciones de agregación y de desagregación de carga. En este aspecto, se realiza un modelo de programación mixto entero con el objetivo de minimizar los costos totales de transporte y operación de la nueva red intermodal, con restricciones asociadas a la generación y procesamiento de carga. (Arévalo, Santofimio, Rocha y Adarme, 2018).

Para el caso particular del análisis que nos ocupa, se tomará el modelo descrito en el párrafo anterior, calculando los mínimos costos operacionales resultantes de la integración de los modos de transporte por carretera y por vía férrea, teniendo en cuenta la capacidad ferroviaria existente y que une los municipios de Ciénaga (Magdalena) y La Dorada (Caldas), en el cual la red en estudio tiene tres elementos principales, orígenes (i), plataformas (j) y destinos (k).

#### 5.1.1. Definición de supuestos

- Los flujos de carga son bidireccionales.
- El transporte terrestre por carretera se realiza mediante un único tipo de configuración de vehículo (C3).
- La carga es de tipo general y no diferencial.
- No se realizan operaciones de carga y descarga entre nodos.
- Las plataformas tienen capacidad limitada.
- Para toda la carga que ingresa a las plataformas,  $j$  es igual a la carga que sale.

#### 5.1.2. Definición de parámetros

- Conjunto de orígenes ( $i = 1,2,3, \dots, I$ )
- Conjunto de plataformas ( $j = 1,2,3, \dots, J$ )
- Conjunto de destinos ( $k = 1,2,3, \dots, K$ )
- $CTR1_{i,j}$ : Costo de transporte por tonelada de carga entre las ciudades de origen tipo  $i$  y la posible ubicación de la plataforma logística  $j$  [\$/ton].
- $CTR2_{j,k}$ : Costo de transporte por tonelada de carga entre las plataformas logísticas tipo  $j$  y puertos de destino tipo  $k$  [\$/tonelada].
- $Ch_j$ : Costo operativo por año en la plataforma logística tipo  $j$  [\$/año].
- $Capc_j$ : Capacidad de almacenamiento y manipulación en la plataforma logística tipo  $j$  [Ton/año].
- $CarGen_i$ : Cantidad de carga generada en la ciudad de origen tipo  $i$  [Ton / año].
- $Pue_k$ : Cantidad de carga a manejar en el tipo de puerto de destino  $k$  [Ton / año].
- $N$ : Número máximo de plataformas logísticas para instalar [Instalaciones].

- $CT$ : Costo total de transporte y operación de la plataforma logística

### 5.1.3. Definición de variables

- $X_{ij}$ : Cantidad de carga a transportar entre la ciudad de origen tipo  $i$  y la plataforma logística tipo  $j$  [ton/año].
- $Y_{ij}$ : Cantidad de carga a transportar entre la plataforma logística Tipo  $j$  y el destino Tipo ciudad  $k$  [ton/año].
- $Z_j$ : % de ocupación de la plataforma  $j$  cuando entra en funcionamiento.

### 5.1.4. Definición función objetivo

Con la notación detallada anterior es posible formular un modelo de programación mixta (MIP) completo de la siguiente manera:

Función Objetivo

$$\text{Min } C = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} CTR1_{ij} X_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} CTR2_{ik} Y_{ik} + CT$$

### 5.1.5. Definición restricciones

$$\sum_{j \in J} X_{ij} \geq \text{CarGen}_i; \forall i$$

$$\sum_{i \in I} X_{ij} \leq \text{Capc}_j Z_j; \forall j$$

$$\sum_{j \in J} Y_{jk} \geq \text{Pue}_k; \forall k$$

$$\sum_{i \in I} X_{ij} - \sum_{k \in K} Y_{jk} = 0$$

$$\sum_{j \in J} Z_j \leq N$$

$$Z_j \in \{0,1\} \quad (j \in J) \quad X_{ij} \geq 0 \quad ; i \in I ; j \in J$$

### 5.1.6. Tablas de datos

Tabla 1. Nodos del modelo

Nodos		Carga Generada/Recibida
Origen/Destino	Puerto de Santa Marta	60%
	Puerto de Barranquilla	40%
	Bogotá	60%
	Medellín	25%
	Ibagué	15%

Tabla 2. Ubicación de plataformas del modelo

Nodos		Carga Generada/Recibida
Plataformas	<b>Ciénaga</b>	100%
	La Dorada	100%

Tabla 3. Costo de transporte por la vía férrea

Tramo	Costo en Ton/Km	Longitud (Km)
Chiriguaná y Santa Marta	\$ 10.990,00	236
Chiriguaná y La Dorada	\$ 23.000,00	524

Fuente: Ministerio de Transporte (Resoluciones 1070 de 2006 y 184 2009).

Tabla 4. Costo de transporte por la vía férrea

Tramo	Costo en Ton/Km	Longitud (Km)
Santa Marta - Ciénaga	\$ 365,00	34
Barranquilla - Ciénaga	\$ 365,00	67
Bogotá - La Dorada	\$ 348,00	195
Medellín - La Dorada	\$ 353,00	237
Ibagué - La Dorada	\$ 320,00	167

Fuente: Ministerio de Transporte, 2021 (SICETAC).

Tabla 5. Capacidad de Operación

Escenarios	Capacidad en Ton
Un tren semanal de 50 Plataformas	1250
Tres trenes semanales de 50 Plataformas	3750
Siete Trenes semanales de 50 Plataformas	8750

### 5.1.7. Aplicación matemática del modelo de simulación

#### Escenario 1: Operación de 1 tren semanal

$$\text{Función Ojetivo}$$

$$\text{Min } C = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} CTR1_{ij} X_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} CTR2_{ik} Y_{ik} + \sum_{j \in J} Ch_j Z_j + CT$$

Costo Total de la Operación	
\$	632.592,00

1er término	2do término	3er término	4to término
\$ 208.800,00	\$ 219.000,00	\$ 54.792,00	\$ 150.000,00

Restricciones

$$\sum_{j \in J} X_{ij} \geq \text{CarGen}_i; \forall i$$

Origen i	Rest	≥	CarGen i
Bogotá	600	≥	750
Medellín	600	≥	312,5
Ibagué	600	≥	187,5

$$\sum_{i \in I} X_{ij} \leq \text{Capc}_j Z_j; \forall j$$

Centro j	Rest	≤	Capc j
Ciénaga	600	≤	600
la Dorada	600	≤	600

$$\sum_{j \in J} Y_{jk} \geq \text{Pue}_k; \forall k$$

Plataforma k	Rest	≥	Pue k
Santa Marta	600	≥	750
Barranquilla	600	≥	500

$$\sum_{i \in I} X_{ij} - \sum_{k \in K} Y_{jk} = 0$$

Rest	=	Equilibrio
0	=	0

$$\sum_{j \in J} Z_j \leq N$$

Rest	≤	Equilibrio
2	≤	2

$$Z_j \in \{0,1\} (j \in J)$$

$$X_{ij} \geq 0; i \in I; j \in J$$

Escenario 2: Operación de 3 trenes semanales

Función Ojetivo

$$Min C = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} CTR1_{ij} X_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} CTR2_{ik} Y_{ik} + \sum_{j \in J} Ch_j Z_j + CT$$

Costo Total de la Operación	
\$	1.488.192,00

1er término	2do término	3er término	4to término
626400	657000	54792	150000

Restricciones

$$\sum_{j \in J} X_{ij} \geq CarGen_i; \forall i$$

Origen i	Rest	≥	CarGen i
Bogotá	1800	≥	2250
Medellín	1800	≥	937,5
Ibagué	1800	≥	562,5

$$\sum_{i \in I} X_{ij} \leq Capc_j Z_j; \forall j$$

Centro j	Rest	≤	Capc j
Ciénaga	1800	≤	1800
la Dorada	1800	≤	1800

$$\sum_{j \in J} Y_{jk} \geq Pue_k; \forall k$$

Plataforma k	Rest	≥	Puek
Santa Marta	1800	≥	2250
Barranquilla	1800	≥	1500

$$\sum_{i \in I} X_{ij} - \sum_{k \in K} Y_{jk} = 0$$

Rest	=	Equilibrio
0	=	0

$$\sum_{j \in J} Z_j \leq N$$

Rest	≤	Equilibrio
2	≤	2

$$Z_j \in \{0,1\} (j \in J)$$

$$X_{ij} \geq 0; i \in I; j \in J$$

### Escenario 3: Operación de 1 tren diario

#### Función Ojetivo

$$Min C = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} CTR1_{ij} X_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} CTR2_{ik} Y_{ik} + \sum_{j \in J} Ch_j Z_j + CT$$

<b>Costo Total de la Operación</b>
<b>\$ 3.199.392,00</b>

<b>1er término</b>	<b>2do término</b>	<b>3er término</b>	<b>4to término</b>
1461600	1533000	54792	150000

#### Restricciones

$$\sum_{j \in J} X_{ij} \geq CarGen_i; \forall i$$

Origen i	Rest	≥	CarGen i
Bogotá	4200	≥	5250
Medellín	4200	≥	2187,5
Ibagué	4200	≥	1312,5

$$\sum_{i \in I} X_{ij} \leq Capc_j Z_j; \forall j$$

Centro j	Rest	≤	Capcj
Ciénaga	4200	≤	4200
la Dorada	4200	≤	4200

$$\sum_{j \in J} Y_{jk} \geq Pue_k; \forall k$$

Plataforma k	Rest	≥	Puek
Santa Marta	4200	≥	5250
Barranquilla	4200	≥	3500

$$\sum_{i \in I} X_{ij} - \sum_{k \in K} Y_{jk} = 0$$

Rest	=	Equilibrio
0	=	0

$$\sum_{j \in J} Z_j \leq N$$

Rest	≤	Equilibrio
2	≤	2

$$Z_j \in \{0,1\} (j \in J)$$

$$X_{ij} \geq 0; i \in I; j \in J$$

## 6. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

### 6.1. Análisis descriptivo de los datos

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los análisis y como es de esperarse, una operación permanente (1 tren diario), determina una opción mucho más viable, en la cual las inversiones realizadas tendrán un retorno mucho más cercano en el tiempo y permitirán hacer sostenible la implementación de una plataforma logística en el municipio de Ciénaga (Magdalena).

También es importante destacar que se hace necesario para poder tener una operación exitosa, se necesita implementar como mínimo dos plataformas logísticas, que permitan integrar los modos de transporte por carretera y vía férrea. En este caso se escogió el municipio de La Dorada (Caldas), ya que al igual que Ciénaga, por su ubicación estratégica, permite realizar operaciones de trasbordo entre los dos modos de transporte integrados en el modelo.

Otro aspecto importante para anotar es que la capacidad de la operación es la clave para su éxito. Debemos tener en cuenta que la vía férrea entre Ciénaga y La Dorada, cuentan con una capacidad de transporte limitada no por la infraestructura de la vía, sino por el material rodante disponible en la actualidad y que se constituye en la principal restricción de este modelo. A continuación se muestra la capacidad de operación férrea en el tramo La Dorada – Chiriguaná, de acuerdo con el material rodante disponible.

Figura 10. capacidad de operación férrea en el tramo La Dorada – Chiriguaná, de acuerdo con el material rodante disponible.

Corredor férreo	Total capacidad carga comercial según equipo rodante	Capacidad usada (información a 15 de abril)	Trenes mes actuales	Capacidad remanente	trenes mes remanentes
La Dorada - Chiriguaná	280.000 Ton/año	60.000 Ton /año	8 de 800 ton	220.000 Ton/año	12 de 1500 ton
	23.000 Ton/mes	5.000 Ton/mes		18.000 Ton /mes	

Fuente: Ministerio de Transportes 2021

## 6.2. Resultados de la simulación

De la simulación de una operación intermodal con integración de modos de transporte por carretera y por vía férrea, en los cuales se ubiquen plataformas logísticas en los municipios de Ciénaga (Magdalena) y La Dorara (Caldas), con carga generada bidireccionalmente y con nodos de origen y destino en las ciudades de Bogotá, Medellín e Ibagué y los puertos de Barranquilla y Santa Marta, en los cuales el porcentaje de carga generada y recibida se encuentre distribuida de la siguiente manera:

Nodos		Carga Generada/Recibida
Origen/Destino	Puerto de Santa Marta	60%
	Puerto de Barranquilla	40%
	Bogotá	60%
	Medellín	25%
	Ibagué	15%

Se obtiene que los costos totales de transporte y operación de la plataforma logística, teniendo en cuenta tres escenarios los tres escenarios modelados, así:

Escenario 1: \$632.592,00

Escenario 2: \$1.488.192,00

Escenario 3: \$3.199.392,00

Pero con un incremento de la carga transportada semanal del 700% entre el escenario 1 y el

3.

## **7. CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACION**

### **7.1. Conclusiones de la revisión de literatura**

Al revisar y analizar la literatura citada en el proyecto se tuvo en cuenta los diversos autores que han venido planteando estudios sobre plataformas logísticas, principalmente enfocados en la intermodalidad carretera – ferrocarril, donde coinciden que la implementación y el uso del transporte férreo es mucho más rentable para distancias largas y con grandes cantidades de carga y cuya combinación con el transporte por carretera lo convierten en una alternativa muy atractiva para la prestación de dichos servicios.

Sumado a lo anterior, la literatura es reiterativa en el tema de la localización como herramienta y punto de partida para el éxito de la viabilidad de una plataforma logística; se puede contar con los recursos, equipos e infraestructura necesarios para establecerse y calificarse como tal, pero si la ubicación y el entorno no cumplen con las condiciones y características necesarias para su puesta en marcha, no habrá garantías para cumplir con su principal propósito, cuyos factores de éxito son entre muchos otros; reducción de costos, de tiempos, sostenibilidad, eficiencia, eficacia y todo factor que permita el buen desempeño del manejo de la carga.

Así las cosas la literatura nos soporta que el estudio y la aplicación del modelo escogido arrojan como resultado la viabilidad de poner en funcionamiento dicha plataforma, ya que el municipio de Ciénaga – Magdalena es idóneo en las condiciones propicias para su planeación y ejecución.

### **7.2. Conclusiones de los resultados de la simulación**

De acuerdo con el análisis cuantitativo de los datos y los resultados de la simulación, se concluye que la implementación de una plataforma logística en el municipio de Ciénaga

(Magdalena), es completamente viable. Sin embargo, debemos tener en cuenta factores como la capacidad operativa, la cual se encuentra restringida por la disponibilidad de material rodante ferroviario actual en el país. Otro aspecto importante es poder mantener una operación que permita realizar las operaciones de acuerdo con los escenarios 2 y 3, para garantizar la sostenibilidad del proyecto y poder obtener de una manera más rápida el retorno de las inversiones realizadas.

### **7.3. Implicaciones para futuras investigaciones**

En este punto vale la pena tener en cuenta, que se puede buscar integrar otros modos de transporte al modelo, como el modo fluvial y aéreo, que permita analizar la viabilidad de una operación multimodal con estos cuatro modos, en la que se incluya por ejemplo una operación logística con nuevas plataformas en ubicaciones como el puerto de Gamarra (Cesar), Honda (Tolima) y Puerto Berrio (Antioquia), que permita optimizar los costos de operación aprovechando la infraestructura de puertos existente sobre el río Magdalena e incluir las cargas que generadas a partir de las operaciones aéreas en las terminales de Barranquilla, Santa Marta y por supuesto en el aeropuerto El Dorado de Bogotá. Otro aspecto es incluir a ciudades intermedias con potencial de convertirse en plataformas logísticas teniendo en cuenta que se encuentran dentro del trazado de la vía férrea y que de acuerdo a su ubicación puedan atraer carga de orígenes y destinos diferentes a los analizados en el modelo y que puedan tener potencial de aportar al desarrollo logístico del país como lo son: Fundación (Magdalena), Bosconia (Cesar) y Barrancabermeja (Norte de Santander), entre otros.

## 8. REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS

- [1] <https://eltransporte.com/transporte-de-carga-puerto-de-santa-marta-carga-movilizada-totalizo-29-millones-de-toneladas/>
- [2] <https://www.analdex.org/2019/07/23/colombia-sera-un-referente-logistico-en-america-latina/>
- [3] <https://www.legiscomex.com/Documentos/actualizacion-colombia-desempeno-logistico>
- [4] Ministerio de Transporte – Plan Maestro de Transporte Intermodal. 2014.
- [5] GHD. Estudio de la terminal intermodal de carga SEQ: Etapa 2 Investigación adicional de las necesidades del sitio. Publicación 41/13667/312359. Queensland Transport Rail Ports & Freight, 2006
- Balza-Franco, V., & Paternina-Arboleda. Clusters logísticos una nueva categoría conceptual en la teoría de economías de aglomeración
- Vera, J. & Ganga, F. (2007). Los clusters industriales: Precisión conceptual y desarrollo teórico. Cuadernos De Administración, 20(33).
- Ferreyra, J. (s.f.). Plataformas Logísticas Como Modelo De Desarrollo. En línea: [http://redcidir.org/multimedia/pdf/trabajos\\_seleccionados/Seleccionados-III-Simposio/Economia-Local-y-Desarrollo-Sustentable/PLATAFORMAS-LOGISTICAS.pdf](http://redcidir.org/multimedia/pdf/trabajos_seleccionados/Seleccionados-III-Simposio/Economia-Local-y-Desarrollo-Sustentable/PLATAFORMAS-LOGISTICAS.pdf).
- Orjuela, J; Castro, O; y Suspes, E. (2005). Operadores y plataformas logísticas. Colombia. En Línea: [http://www.aippyc.org/intranet/biblioteca\\_digital/recreacion3.pdf](http://www.aippyc.org/intranet/biblioteca_digital/recreacion3.pdf).
- Koen H. van Dam, Zofia Lukszo, Luis Ferreira y Ackchai Sirikijpanichkul, planificación de la ubicación de los centros de carga intermodales.

- Lang Camargo Karina Gineth, Localización óptima de terminales logísticas multimodales en ambientes competitivos: un enfoque P-HUB.
- Rafael Arevalo Ascanio, Rafael Santotofimio Rivera, Jair Eduardo Rocha Gonzalez, Wilson Adarme J Localización de plataformas logísticas para el desarrollo armonioso de la red intermodal del país. 2018
- Conferencia Europea de ministros de Transporte (CEMT) y la Comisión Europea (CE) DE LAS NACIONES UNIDAS (New York y Ginebra 2001). EUROPLATFORMS AEIE – enero 2004.
- JP Hormiguero Ventura, Juan Pedro. (junio de 2006) “La evolución de los factores de localización de actividades” [En Línea] Catalunya [Consultado el 16 de diciembre 2013] Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/3308>
- CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL REPÚBLICA DE COLOMBIA DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN Bogotá, D.C., 13 de enero de 2020.
- PLAN MAESTRO FERROVIARIO NACIONAL. Una estrategia para la reactivación y consolidación de la operación ferroviaria en el país. Ministerio de Transporte. 2020.
- AVANCES DE LA REACTIVACIÓN DEL MODO FÉRREO Y LA INTERMODALIDAD. Ministerio de Transporte. Julio de 2021
- Resolución No. 1070. Por la cual se establecen las tarifas correspondientes a los usuarios del transporte ferroviario de carga y pasajeros del corredor férreo Chiriguana - Santa Marta. Ministerio de Transportes. 27 de Marzo de 2006.

- Resolución No. 184. Por la cual se establecen las tarifas correspondientes a los operadores y usuarios de transporte ferroviario de carga y pasajeros en el Corredor del Sistema Ferroviario Central. Ministerio de Transportes. 16 de Enero de 2009.