

# Modelo de Programación Entera Mixta para Localizar Plataformas Logísticas en el Corredor Férreo Del Atlántico en Colombia

Paez-Sanchez Carlos Andres, Eng.<sup>1</sup>, Rocha-Gonzalez Jair Eduardo, Msc. Eng<sup>2</sup>, Arango-Lopez Julian Andres, Eng.<sup>3</sup>  
[pCarlos54@unisalle.edu.co](mailto:pCarlos54@unisalle.edu.co), [jerocha@unisalle.edu.co](mailto:jerocha@unisalle.edu.co), [jarango50@unisalle.edu.co](mailto:jarango50@unisalle.edu.co) Universidad de La Salle, Colombia

**Resumen**—El proyecto de investigación tiene como fin identificar una propuesta de solución al problema de ubicación de plataformas logísticas a través del corredor férreo del atlántico utilizando el modelamiento matemático *Facility Location Problem* (FLP) identificando como caso de solución la instalación de plataformas logísticas o *hubs* con el uso del método *Hub Location Problem*.

En el desarrollo de la investigación se formula un modelo matemático de programación entera mixta integrada en la metodología del trabajo, donde a través de este se desarrolla una propuesta de localización de plataformas logísticas o *hubs* sobre el corredor férreo del atlántico permitiendo la integración de los diferentes modos de transporte apoyando a la multimodalidad a la que el país apuesta en el CONPES 3547 para el año 2020.

Por último, se presenta una comparación donde se contrasta la situación actual de transporte de carga del país con la situación propuesta implementando la estrategia del multimodalismo y así identificar cuál de las dos estrategias permite un avance en el transporte de carga del país.

**Palabras claves**— Plataformas logísticas, Transporte de carga, Multimodalismo, *Facility Location Problem*, *Hub Location Problem*, Corredor férreo Del atlántico.

**Abstract**— *The research project aims to identify a proposed solution to the problem of location of logistics platforms through the Atlantic railway corridor using the mathematical modelling Facility Location problem (FLP) identifying as a solution case the installation of logistics platforms or hubs with the use of the Hub Location problem method.*

*In the development of research is formulated a mathematical model of whole mixed programming integrated in the methodology of the work, where through this a proposal of localization of logistic platforms or hubs on the railroad corridor of the Atlantic is developed allowing the integration of the different modes of transport supporting to the multimodality to which the country bet on CONPES 3547 to 2020.*

*Finally, a comparison is presented where the current situation of cargo transport of the country is contrasted with the proposed situation implementing the strategy of multimodalism and thus to identify which of the two strategies allows a advance in the country's cargo transport.*

**Keywords**—*Freight Transportation, Multimodality, Facility Location Problem, Hub Location Problem, Railway of the Atlantic.*

## I. INTRODUCCIÓN

Colombia dentro de su desarrollo logístico estipulado en el CONPES 3547 del 2008 ha diseñado una estrategia de modernización de infraestructura con una inversión de cerca de 3.2% del PIB del país con el objetivo de mejorar su desempeño logístico con el fin de competir con países latinoamericanos y así obtener una disminución en los costos logísticos los cuales se ven reflejados en el precio final del Producto [1].

Según la Agencia Nacional de Instituciones financieras la gran concentración de envíos de carga a través del modo vial ha generado que en términos logísticos Colombia sea un país con un bajo nivel. Colombia es un país con un alto relieve lo que hace que los trayectos sean bastante largos aumentando los costos de transporte, además de ser uno de los países de Latinoamérica con el costo de gasolina más alto del sector [1].

Teniendo en cuenta el índice de competitividad global (ICG) del año 2016 Colombia se encuentra en el puesto sesenta y uno por debajo de países latinoamericanos como Ecuador, Chile y Panamá, identificando como factor principal los elevados costos promedio de un contenedor de carga que al compararlo con países latinoamericanos del mismo nivel como Chile o Perú presenta una diferencia de más del 100% en costos de transporte lo que deriva una disminución en la competitividad logística del país [1].

Dentro del plan maestro de transporte multimodal (PMTI) se propone a través de una red de infraestructura conectar a todas las ciudades del país, aumentando la competitividad del país aprovechando al máximo todos los medios de transporte presentes en Colombia, implementando los tres objetivos del plan que es impulsar el comercio, reduciendo costos de transporte, distancias y costos generados, además de impulsar el desarrollo regional e integrar el territorio acercando a todas los colombianos a los principales mercados [1].

Es por esto que el proyecto a desarrollar busca establecer una propuesta de macro-localización de plataformas logísticas en la cercanía del corredor férreo del atlántico, teniendo en cuenta otras investigaciones del mismo ámbito como la localización de plataformas logísticas para recuperar la navegabilidad sobre el río Magdalena aplicando técnicas como *Facility Location*

Digital Object Identifier: (to be inserted by LACCEI).  
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

*problem* la cual permite hacer una ubicación estratégica de las plataformas logísticas o *Hubs* disminuyendo costos y tiempos en el transporte de carga del país.

## II. ESTADO DEL ARTE

Actualmente Colombia cuenta con cuatro redes férreas en el cual resaltan dos corredores, el corredor férreo del atlántico el cual tiene una extensión de mil cuatrocientos noventa y tres kilómetros y cubre los departamentos del Cesar, Magdalena, Santander, Boyacá, Antioquia, Cundinamarca y caldas haciendo de este un corredor férreo de gran importancia para la prestación del servicio de cargas del país, además de contar con mil ciento siete kilómetros de vía férrea reconstruidos y totalmente concesionados por ferrovías para la prestación del servicio de carga con una duración de la concesión de treinta años a partir del año 2000, mientras el otro corredor férreo es el del pacífico el cual tiene una extensión de cuatrocientos noventa y ocho kilómetros y cubre los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle entre los cuales se encuentra el puerto de Buenaventura [2].

Al realizar la revisión de literatura se encontraron diferentes investigaciones que apoyan el desarrollo de implementación de plataformas logísticas sobre la red férrea del país [1] para ello. En los artículos [3] y [4] se encuentra una revisión amplia de la ubicación de instalación e investigación de la ciencia de la ubicación identificando de manera general los diferentes modelos de localización y la dinámica de los problemas de localización de las instalaciones (FLPs), para tratar de forma eficiente los cambios de parámetros factores internos, externos y poblaciones que intervienen en la localización de instalaciones.

También se encontraron investigaciones que evidencian la aplicabilidad de los casos de *Facility Location* [5] abordando posibles escenarios que tienen como objetivo satisfacer la demanda con el menor costo total de transporte de un solo producto, a su vez se analiza en la extensión multiproducto considerando la situación en la que  $n$  productos distintos son enviados a los clientes, sujeto a restricciones de capacidad y demanda, asociados en el problema de Weber, [5]. En el artículo [6] se investiga la localización de una sola instalación con múltiples oportunidades de reubicación. El objetivo del estudio es minimizar los costos totales de localización y reubicación, por medio del algoritmo planteado el cual tiene como objetivo encuentra las ubicaciones óptimas, los tiempos de reubicación y el costo total, para los tres tipos de medidas de distancia y varias funciones de peso [6].

Teniendo en cuenta el objetivo de la investigación se identificaron dos artículos que apoyan a la investigación, el primero de estos es [7], el cual analiza los avances más recientes en *Hub Location Problem* (HLP) a partir del año 2007 hasta ahora, haciendo un análisis de las diferentes técnicas de solución sus restricciones y factores que intervienen en la ubicación de *Hubs*. Los *hubs* o plataformas logísticas son instalaciones que funcionan como puntos de consolidación,

conexión, y conmutación para flujos entre los orígenes y destinos estipulados.

El segundo artículo pertinente es [8], presentado en el VI congreso internacional de diseño e ingeniería naval (COPINAVAL) donde se evidencia la importancia de la implementación de plataformas logísticas sobre la cuenca del río Magdalena con la utilización de *Hub location problem* (HLP) apoyando al intermodalismo aplicado a dos tipos de transporte fluvial y carretero, teniendo como objetivo de mejorar en términos logísticos la competitividad del país.

Estos casos de problema tienen en común la optimización de la ubicación de instalaciones, identificando las funciones y restricciones relacionadas con el análisis de costo y tiempo, con el objetivo minimizar la distancia entre los diferentes puntos de la red logística, la satisfacción de la demanda y la optimización del número de posibles puntos de las nuevas instalaciones [4].

Para la solución de este tipo de problemas se encuentran diferentes tipos de técnicas como heurísticas, algoritmos específicos y métodos generales de solución, teniendo como función objetivo la minimización de costos, distancia, tiempo y maximizar las ganancias obtenidas aumentando la efectividad y eficiencia de los recursos utilizados [4].

Dentro de las técnicas mencionadas en [5], los autores hacen referencia a las condiciones necesarias para la utilización de cada uno de los modelos, ya que la aplicación y éxito de cada uno de los modelos está sujeto a las condiciones propuestas, sin embargo cada zona de ubicación también está sujeto a condiciones, es por esto que los autores mencionan que las condiciones presentadas por las zonas de instalación deben ser contempladas en el momento de la elección del modelo de localización de plataformas logísticas.

Teniendo en cuenta la revisión literaria se encuentra que el problema de ubicación de instalación es aplicable a diferentes sectores económicos como Industrias Químicas y electrónicas, transporte, servicios médicos, atención y prevención de desastres, Industria petroquímica y de telecomunicaciones además de servicios policiales y militares, entre otros, teniendo en cuenta que la ubicación óptima de plataformas logísticas permite a cada una de las industrias disminuir los costos de transporte, siendo este uno de los factores de mayor incidencia en el precio final de sus productos.

En la Fig. 1. Se identifican los diferentes problemas de estudio de Ubicación de instalaciones, identificando sus características, subproblemas y sus posibles soluciones.

## III. METODOLOGIA

A través de una amplia revisión bibliográfica se identificó que la localización de plataformas logísticas tiene una amplia variación en sus métodos, estos métodos están agrupados en dos tipos: estáticos y dinámicos, la selección del método de solución se da por cómo se ajuste a las condiciones, características o restricciones establecidas.

Para este artículo el tipo de método escogido es un método estático, ya que es el que mejor se ajusta a las condiciones, características o restricciones establecidas, para Abordar este caso se abordarían aspectos tales como, tiempo, espacio, número de instalaciones que son problemas asociados a problemas de localización discreta (DFLP), problemas de localización en red

(NFLP) y problemas de ubicación continua (CFLP), Para el problema de ubicación continua se analizan problemas de macro localización donde el factor que tiene mayor influencia en la localización de las instalaciones es la distancia con los clientes, dando prioridad así a la cercanía entre los clientes y las plataformas a instalar.

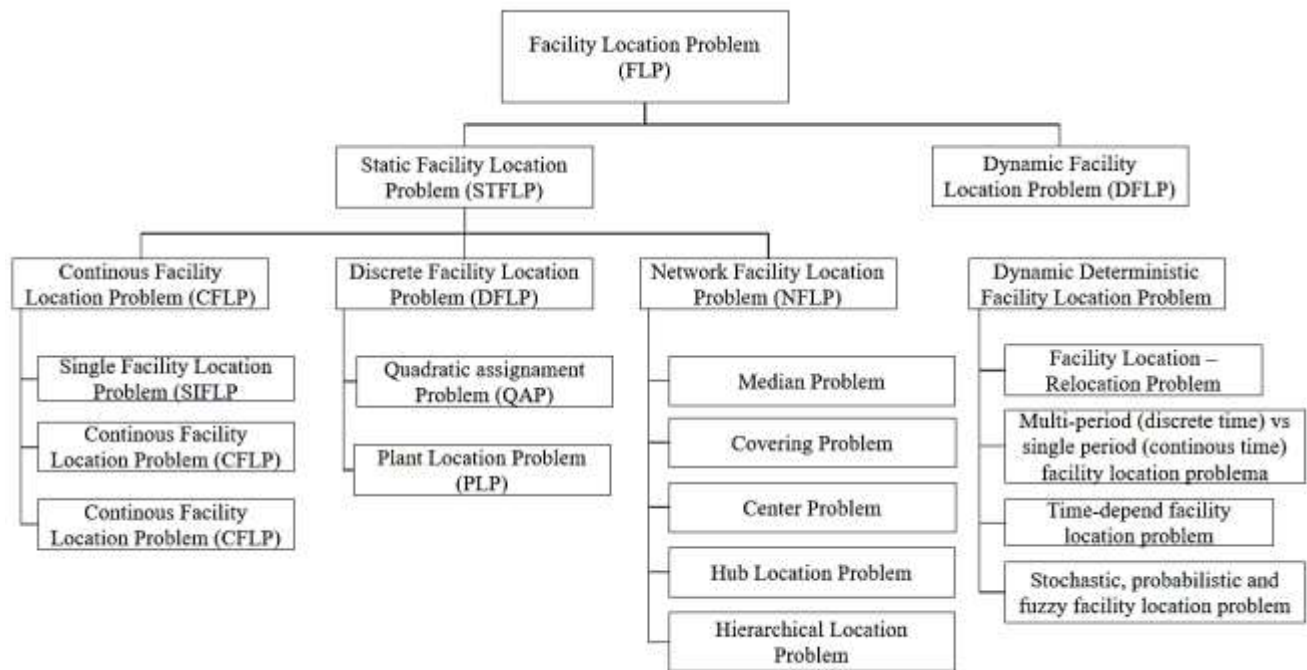


Fig. 1. Árbol de Problemas Facility Location Problem (FLP )  
Fuente: Arevalo.A,R., Santofimio.R,R., Rocha.G,J,E., Adarme.J,W., [8]

El problema de localización continuo (CFLP) permite la ubicación de una o varias instalaciones de acuerdo a lo establecido en las condiciones iniciales del modelo teniendo en cuenta las distancias euclidianas establecidas entre cliente e instalación(es) ubicada(s) las cuales deben ser minimizadas a través del modelo seleccionado y así como consecuencia minimizar los costos de transporte totales de carga de Colombia.

Para el desarrollo de este artículo se tiene en cuenta la información suministrada por el ministerio de transporte de Colombia a través del Registro nacional de carga (RNDC) [10] donde se registra el movimiento de carga de Colombia desde el año 2013 hasta la actualidad, y la información de la situación actual de las vías férreas del país.

Para este artículo el método de solución evaluado es *Hub Location Problem* (HLP), ya que de acuerdo a [7] para las condiciones del proyecto tiene el mejor ajuste para las condiciones dadas. *Hub Location Problem* permite a través de un modelamiento matemático hacer una localización estática y continúa de instalaciones lo que se ajusta a la necesidad del artículo, para establecer el modelo se identificaron tres elementos principales, Nodos generadores de carga, nodos para plataformas logísticas y nodos de suministro.

Para la identificación de los nodos de origen a evaluar se identifican a través de un diagrama de Pareto, donde se hace la selección de nodos de origen que contenga el 80% de la carga

generada del país hacia los puertos de Barranquilla, Santa Martha y Cartagena los cuales son identificados como los nodos destino, Las departamentos elegidos como nodo origen son, Antioquia, Arauca, Bogotá, Boyacá, Caldas, Caquetá, Casanare, Cauca, Cesar, Choco, Córdoba, Cundinamarca, Guainía, Guaviare, Guajira, Huila, Meta, Nariño, Norte de Santander, Putumayo, Quindío, Risaralda, Santander, Sucre, Tolima, Valle del Cauca y Vichada.

Sin embargo para identificar los nodos de las plataformas logísticas se hace el modelamiento matemático por medio del método de *Hub Location Problem* (HLP), el cual permite seleccionar entre Bogotá DC, Chiriquaná, Belencito, La Dorada, La Vizcaína y Puerto Berrio cuales y cuantas serán las instalaciones a ubicar como centro de almacenamiento y despacho de mercaderías en el corredor férreo del atlántico, con el fin de hacer uso del multimodalismo propuesto en [9] .

#### IV. MODELO Y SUPUESTOS

Para el desarrollo del modelo propuesto como alternativa de solución al problema descrito en la investigación fue necesario considerar los siguientes supuestos, la carga transportada fue establecida de forma general y no específica en los diferentes tipos de clasificación de ella; el movimiento de mercancía realiza bajo la configuración de camiones tipo C3 que corresponden a camiones de cuatro ejes de acuerdo a la normativa del ministerio de transporte Colombiano; el

transporte de carga se realiza en un solo sentido de las ciudades generadoras a los puertos de la costa atlántica; no se contempla la operación de carga y descarga entre los diferentes nodos; la carga que ingresa a las plataformas logísticas es igual a la que sale de ellas; las plataformas logísticas intermedias tienen una capacidad limitada.

A continuación, el modelo realizado para dar solución a la problemática presentada muestra la estructura en detalle descrita de la siguiente manera:

**Objetivo:** Determinar la ubicación de las instalaciones intermedias o plataformas logísticas tipo  $j$  que permitan el intercambio modal en el transporte de carga entre los generadores de carga tipo  $i$  y los puertos de destino en el caribe tipo  $k$  con mínimo costo de gestión.

**Función objetivo:** Costo total mínimo de transporte de carga entre los generadores de carga, las plataformas logísticas y los puertos de destino.

**Variables de decisión:**

$CF$  Costo total de transporte y operación del sistema logístico.

$X_{ij}$  Cantidad de carga a transportar entre el departamento de origen tipo  $i$  y la plataforma logística tipo  $j$  [Ton/5 años].

$Y_{jk}$ : Cantidad de carga a transportar entre la plataforma tipo  $j$  y el departamento destino tipo  $k$  [Ton/5 años].

$Z_j$ : Decisión de apertura y puesta en funcionamiento de la plataforma logística tipo  $j$ , con variable de activación 1: si la plataforma  $j$  entra en funcionamiento; 0: en otro caso.

**Parámetros:**

$CPT1_{ij}$ : Costo de transporte por tonelada de carga entre los departamentos de origen tipo  $i$  y la posible ubicación de la plataforma logística dado en  $j$  [\$/ton].

$CPT2_{jk}$  Costo de transporte por tonelada de carga entre las posibles plataformas logísticas tipo  $j$  y los puertos tipo  $k$  [\$/ton].

$COP_j$  Costo de operación por 5 años en la plataforma logística tipo  $j$  [\$/5 años].

$CAPP_j$  Capacidad de almacenamiento en las plataformas logísticas tipo  $j$  [Ton/5 años].

$CGT_i$  Cantidad de carga generada en el departamento de origen tipo  $i$  [Ton/5 años].

$CMP_k$  Cantidad de carga a manejar en el puerto tipo  $k$  [Ton/5 años].

$N$  Número máximo de plataformas logísticas a instalar.

Teniendo en cuenta las variables y parámetros es posible formular un modelo de programación entera como se evidencia a continuación:

$$\text{Min} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} CPT1_{ij} \times X_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} CPT2_{jk} \times Y_{jk} + \sum_{j \in J} COP_j \times Z_j \quad (1)$$

**Sujeto a:**

$$\sum_{i \in I} X_{ij} \leq CAPP_j \times Z_j; \quad \forall j \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} \geq CGT_i; \quad \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ij} - \sum_{k \in K} Y_{ij} = 0 \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{ij} \geq CMP_k; \quad \forall k \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} Z_j \leq N \quad (6)$$

$$Z_j \in [0,1] \quad (7)$$

$$X_{ij} \geq 0; (i \in I; j \in J) \quad (8)$$

$$Y_{ij} \geq 0; (j \in J; k \in K) \quad (9)$$

La ecuación (1) hace referencia a una ecuación de costo total de la gestión de movilización de carga, la cual estima el costo de transporte de la carga proyectada entre los nodos de origen, intermedios y destino, así como los costos de operación de los puntos intermedios.

La ecuación (2) es una expresión matemática que representa la capacidad máxima de almacenamiento disponible en las posibles plataformas logísticas a localizar.

La ecuación (3) es una expresión matemática que establece la generación de carga del nodo de origen tipo  $i$ , que requiere ser transportada a través de las plataformas logísticas tipo  $j$  posible de instalar.

La ecuación (4) es una expresión que relaciona que la carga que ingresa a la plataforma logística tipo  $j$  a instalar sea enviada en su totalidad a los puertos de destino tipo  $k$  garantizando la ausencia de almacenaje en las plataformas logísticas.

La ecuación (5) es una expresión de manejo de carga por los puertos en los cuales se fija como cota mínima la carga que se genera en los generadores de carga distribuidos en el país.

La ecuación (6) es una expresión matemática que limita el número de instalaciones intermedias a instalar a un número finito y conocido que puede ser planteado de acuerdo a las políticas nacionales de desarrollo de infraestructura logística.

La ecuación (7) presenta la naturaleza de la variable de apertura de cada una de las plataformas logísticas, limitándola a un comportamiento binario, con valores de 0 o 1.

Por último, las ecuaciones (8) y (9) representan las ecuaciones de no-negatividad, permitiendo así tomar a las variables  $X_{ij}$  y  $Y_{ij}$  estimar la cantidad de carga a transportar entre los diferentes elementos de la cadena logística del modelo.

## V. ANALISIS DE RESULTADOS

Para iniciar se procede a realizar la solución del modelo iniciando con una instalación intermedia e incrementando en una instalación en las siguientes soluciones del modelo, esto con el propósito de determinar el número mínimo de plataformas logísticas a instalar y que conlleven a la viabilidad del sistema frente a las cantidades de carga a transportar en el sistema propuesto.

Para ello, se realiza una preselección de cinco puntos posibles ubicados en el corredor férreo del atlántico, los cuales corresponden a puntos identificados históricamente como paradas en el corredor férreo del atlántico, siendo estas: Bogotá DC (BOG), Chiriguana (CES), La dorada (CAL), Belencito (BOY), La Vizcaína (SAN) y Puerto Berrio (ANT).

De esta forma, fue posible establecer un número de tres plataformas logísticas, con las cuales el modelo cumple con las restricciones de número de plataformas y capacidad de procesamiento de carga a transportar en el sistema propuesto, ubicadas en los municipios de Bogotá DC, Chiriguana (CES),

y La Dorada (CAL), tal como se espera de la implementación de un modelo *Hub Location Problem*.

Luego, estas tres plataformas logísticas ubicadas tendrán como carga esperada de manejo cifras de 99'822.664, 146'825.919 y 22'112.540 Toneladas para cinco años respectivamente, las cuales pueden ser discriminadas con los resultados contenidos en la Tabla 1, mostrando a Valle del Cauca como la región con mayor generación de carga (61%) del total de envíos de carga enviados a la plataforma ubicada en Bogotá DC.

En el caso de Chiriguana (CES) la región que mayor generación de carga hacia este departamento es Norte de Santander que con (49%) de la carga recibida en este *Hub* es el departamento que mayor participación tiene en Chiriguana (CES).

Por último, el *Hub* ubicado en La Dorada caldas el departamento que mayor cantidad de carga envía es el departamento de Antioquia envía el (75%) de la carga que recibe el *hub* ubicado en la ciudad de La Dorada.

Cada una de las plataformas establecidas tiene la función la recepción de carga para cada uno de los departamentos de Origen del país, Bogotá principalmente es el receptor de carga de la zona Sur del país, mientras que el departamento de Chiriguana recibe su mayor parte de carga por la zona norte país, sin embargo la ciudad de la Dorada Caldas es la encargada de recibir toda la mercancía de la zona Oriente, también recibe una carga del departamento de Boyacá debido a que el modelo no ubica a belencito esto como consecuencia a que este *Hub* se hacía de poca relevancia para el resto del país.

Una vez se conocen las ubicaciones de las plataformas logísticas se procede a determinar los flujos de carga desde las plataformas tipo  $j$  a los departamentos de Origen tipo  $k$ , como se presenta en la tabla 2. Esta distribución cumple con los supuestos de satisfacer todas las demandas de los puertos destino.

El departamento que recibe la mayor cantidad de carga es el departamento de Magdalena en especial la ciudad de Santa Marta que recibe un total de 121'935.204 Toneladas, siendo el *Hub* ubicado en Bogotá el que mayor generación de carga hace a este puerto, aportando 99'822.664 Toneladas equivalentes al (81%) de la carga recibida.

Por otra parte los puertos ubicados en Atlántico y Bolívar reciben su carga principalmente del *Hub* ubicado en La Dorada el cual tiene una generación de carga de 146'825.919 Toneladas siendo el puerto ubicado en la región del Atlántico con 83'412.960 Toneladas equivalentes al (56%) de la carga enviada por el *Hub* ubicado en La Dorada.

El costo total del modelo propuesto haciendo uso del multimodalismo para el transporte de carga desde los nodo Origen tipo  $i$  hasta los nodos intermedios tipo  $j$  y los nodos destino tipo  $k$  es de COP \$50'055.120 Billones durante los cinco años de demanda analizados.

**TABLA I**  
Carga movilizada entre los nodos origen y las plataformas logísticas seleccionadas.

	Bogotá	La dorada	Chiriguana		Bogotá	La dorada	Chiriguana
Antioquia	0	41316300	0	Huila	4696395	0	0
Arauca	89177	0	0	Guajira		0	1237654
Bogotá	23800720	0	0	Meta	8513538	0	0
Boyacá	1334780	1293349	0	Nariño	2280053	0	0
Caldas	0	3924890	0	Norte de Santander		0	10904350
Caquetá	59776	0	0	Putumayo	108493	0	0
Casanare	842381	0	0	Quindío	0	1300513	0
Cauca	6602489	0	0	Risaralda	0	5208086	0
Cesar	0	0	3115049	Santander	0	1798288	0
Choco	0	39627	0	Valle del Cauca	9018441	0	0

**TABLA II**  
Carga enviada de las plataformas logísticas a los puertos destino.

	ATL	BOL	MAG
BOG			99822664
DOR	83412960	63412959	
CHI			22112540

De acuerdo a lo evidenciado en el estudio durante los últimos cinco años el transporte de carga ha sido un problema en términos logísticos para Colombia, de acuerdo a diferentes estudios realizados se evidencia el pobre nivel logístico Colombia, esto como consecuencia a la manera en que se ha realizado el transporte de carga en el país. De acuerdo a lo evidenciado el único medio de transporte utilizado ha sido el transporte Vial el cual presenta diferentes problemas como alto relieve en el territorio colombiano lo que hace que se haga un mayor consumo de combustible por los altos trayectos que se deben recorrer entre ciudades y puertos, siendo el consumidor final de los productos el mayor afectado, ya que este es el encargado de asumir estos costos en la compra de sus productos.

Como se observa en la Fig. 2. Colombia durante los últimos cinco años ha pagado COP \$62.701.957 Billones en el transporte de carga, que comparados con el costo de la propuesta el cual corresponde a COP \$50'055.120 Billones, a continuación, se muestran las variaciones de valores pagados.

Como se Observa en la Fig. 2. se puede observar que en la propuesta generada para la utilización del intemodalismo en el transporte de carga del país hay una reducción de \$12.646.837.140.663 lo que equivale a una reducción del (25%) lo cual muestra una variación significativa entre la situación actual y la situación propuesta.

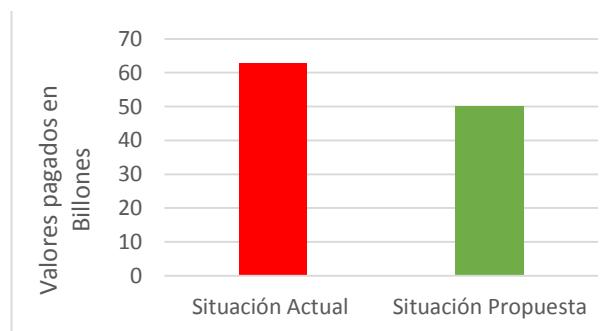


Fig.2. Comparación valores pagados en el transporte de carga por medio carretero VS transporte de carga intermodal modo carretero - ferroviario

## VI. CONCLUSIONES

Colombia es un país que cuenta con un alto relieve el cual hace el transporte de carga por vía terrestre ineficiente y de altos costos los cuales se ven reflejados en los consumidores finales producto, haciendo necesario la implementación de un nuevo sistema de transporte para el país que apoye al sistema logístico intermodal el cual tiene como principal objetivo la unificación de los diferentes medios de transporte de carga.

El 80% del transporte de carga movilizado en el país se realiza en 9 de los 32 departamentos, el principal departamento en la movilización de carga es el departamento del valle del cauca con el 21.8%, seguido del departamento de Cundinamarca con el 12.36%, Antioquia con el 9.98%, Atlántico con el 8.48%, Bolívar con el 7.18%, Boyacá con el 6.35%, Bogotá con el 5.75%, Santander con el 4.34% y el departamento del Magdalena con el 4.22% del total de la carga transportada.

Con la implementación de la localización de las plataformas logísticas propuestas en la investigación y la utilización del

transporte intermodal habría una disminución de \$12.646.837.140.663 en el costo de transporte, lo que corresponde a una disminución del 25% a los costos actuales del transporte por el modo carretero.

Las ubicaciones óptimas de las plataformas logísticas utilizando el modelo *Hub* corresponden a las ciudades de Bogotá, La Dorada y Chiriguaná teniendo en cuenta que estas ciudades cuentan con estaciones férreas del corredor ferroviario del Atlántico.

La integración de un sistema logístico intermodal y la implementación de plataformas logísticas permiten mejorar el transporte de carga en el país influyendo positivamente en la competitividad logística y el desarrollo de este, teniendo impactos positivos tanto sociales como económicos en el transporte de carga.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Agencia Nacional de Instituciones Financieras-ANIF-, «Costos de Transporte, Multimodalismo y la competitividad de Colombia,» Agencia Nacional de Instituciones Financieras-ANIF-, Bogotá, 2014.
- [2] Ministerio de Transporte, «Transporte ferreo y redes ferreas,» 2016.
- [3] T. S. Hale y C. R. Moberg, «Location Science Research: A Review,» *Annals of Operations Research*, vol. 123, n° 1, pp. 21-35, 2003.
- [4] A. & F. R. Arabani, «Facility location dynamics: An overview of classifications and applications,» *Science Direct*.
- [5] M. O. T. & A. L. Akyuz, «The multi-commodity capacitated multi-facility Weber Problem: Heuristics and confidence intervals,» *Science Direct*.
- [6] R. D. Z. & A. Farahani, «Single Facility Location and Relocation problem with time-dependent weights and discrete planning horizon,» *Science Direct*.
- [7] A. & F. R. & E. N. & M. H. Arabani, «Hub Location Problems: A review of models, Clasification, solution techniques, and applications,» *Science Direct*.
- [8] R. Arevalo.A, R. Santofinio.R, J. Rocha.G y W. Adarme.J, «Logistic platform placement for harmonious development of the nation's intermodal network,» *Ship Science and Technology*, pp. 81-90, 2018.
- [9] Ministerio de comercio, Industria y Turismo, «Conpes 3547,» 2008.
- [10] Ministerio de transporte , «Registro Nacional de carga,» Bogotá, 2013.