

# Modelo de optimización colaborativo para la minimización de los costos variables de transporte de carga por carretera en Colombia

## Model of collaborative optimization for the minimization of the variable costs of cargo freight transport in Colombia

Marolys Ferrer, Yoselin Ariza, Jeison Martínez, Jhon Garizao & Alexander Pulido-Rojano

{mferrer10@unisimon.edu.co},{yariza12@unisimonbolivar.edu.co}

*Universidad Simón Bolívar, Barranquilla-Colombia.*

**Resumen** El objetivo del proyecto es diseñar un modelo de optimización colaborativo para la minimización de los costos de transporte de carga por carretera en Colombia. El modelo tendrá en cuenta la estructura de costos de referencia del transporte de carga por carretera propuesto por el Ministerio de Transporte en Colombia y las características de los diferentes prestadores de servicios de carga, todo esto con el objetivo de contribuir a las empresas y organizaciones que desean mejorar continuamente sus procesos logísticos.

**Palabras clave:** Costos Logísticos, Optimización, Logística Colaborativa, Transporte por carretera

**Abstract** The objective of the project is to design a collaborative optimization model for the minimization of road freight transport costs in Colombia. The model will take into account the reference cost structure of the road freight transport proposed by the Ministry of Transportation in Colombia and the characteristics of the different cargo service providers, all with the objective of contributing to the companies and organizations that They want to continuously improve their logistics processes.

**Key words:** Logistics Costs, Optimization, Collaborative Logistics, Road Transport

## Introducción

La logística colaborativa fue fundada hace más de una década y desde entonces hace referencia a la cadena de suministro. Supply chain management, considera que existe la logística colaborativa cuando dos o más empresas se unen con el fin de trabajar en forma conjunta, para obtener una mejor cadena de suministro, mejorando así los costos, flexibilidad, agilidad, calidad y servicio [1].

Actualmente todas las empresas trabajan en pro de mejorar continuamente, optimizando cada uno de los procesos que se desarrollen en esta, queriendo siempre atender las necesidades que presentan los clientes donde primero es necesario apuntar a una buena armonía entre los departamentos que la componen atacando cualquier problemática que se pueda presentar a nivel interno, y así poder mostrarse como una empresa competitiva y sólida. Se vuelve necesario modelar una logística colaborativa entre todos los miembros, promoviendo el trabajo en equipo importante para el desarrollo en las empresas, puesto que trabajar en equipo hace que de una u otra manera consigamos eficaz y eficientemente la meta planteada, donde todos puedan aportar y de manera conjunta conseguir cada uno de los objetivos a alcanzar [2].

Es necesario mencionar como Colombia regula los costos del transporte terrestre, ya que de esto partiremos para profundizar nuestro proyecto, sabemos que Colombia moviliza la mayoría de cargas por carretera, pero con un alto coste. El valor total del transporte terrestre depende de los costos fijos y costos variables [3]. Los costos fijos son de menor prioridad con respecto a las vías por las que se opera. Son los costos básicos de cualquier medio de transporte, tales como, seguros, salario del conductor, amortizaciones y depreciación. Los costos variables por su parte, son aquellos que tienden a ser elevados ya que la construcción y mantenimiento de dichas vías son pagadas por los usuarios por medio de los peajes, impuestos de combustible y los impuestos por la relación de peso/kilometraje. Estos costos deben siempre ser calculados por kilómetro recorrido, entre los más representativos tenemos la gasolina, el aceite, los peajes, las llantas [4].

En el presente proyecto se propone diseñar un modelo de optimización colaborativo para la minimización de los costos de transporte de carga por carretera en Colombia. El modelo tendrá en cuenta la estructura de costos de referencia del transporte de carga por carretera propuesto por el Ministerio de Transporte en Colombia y las características de los diferentes prestadores de servicios de carga.

## Estado del arte

Con fundamento en estudios e investigaciones realizadas en el transporte en Colombia, haremos un breve recorrido por las más recientes publicaciones de artículos y documentos investigativos, tomados como soporte para nuestra investigación las experiencias y los resultados obtenidos.

En un artículo publicado por Juan Céspedes, en el periódico digital Loginews el 15 de febrero del 2018 se evidencia un claro crecimiento en los costos del transporte de carga por carretera en el Colombia de un 4.72% en el 2017. Esto aumenta la necesidad y el pronto desarrollo de investigar sobre un modelo que minimice los costos del transporte de carga por carretera [5]. Siendo útil y de manera importante en el año 2017 el Economista de la Universidad del Atlántico y Master en Logística integral de la Universidad Autónoma de Barcelona – España, Rodolfo Enrique Silvera y la ingeniera industrial de la Universidad del Atlántico. Tecnóloga en Gestión logística del Sena. Dannys Patricia Mendosa hacen un libro llamado “Costos logísticos del transporte terrestre de carga en Colombia” basado en el estudio y el análisis de estrategias y herramientas que nos permiten tener un mejor control de los costos del transporte de carga por carretera [6]. Así mismo el 5 de junio del año 2016 la periodista Mónica Andrea Saavedra Crespo del periódico EL MUNDO .COM publica un artículo donde el Departamento Nacional de Planeación DNP en conjunto con la Presidencia de la República, buscan reducir este porcentaje de costos logísticos de un 14.7% a 12% para el año 2030. Para esto se quiere identificar un paquete de medidas que, en articulación con las demás entidades involucradas, permita reducir los costos de logística y mejorar la competitividad de las empresas y del país [7]. por otra parte la revista mexicana de ciencia agrícola público el 7 de septiembre de 2015, un artículo de una investigación realizada en 2014, con la finalidad de desarrollar un modelo que les permitiera mejorar la

distribución del producto a través de la minimización de costos del transporte, para esto diseñaron el modelo de transporte correspondiente basados en técnicas matemáticas de la programación lineal y en el método de costo mínimo donde asigna la mayor cantidad posible de oferta a menor costo unitario [8]. La universidad de Medellín especialización en gestión financiera empresarial en el 2015 diseño un modelo de estructura de costos de transporte aplicable a la Compañía Icoltrans S.A.S; su proyección tuvo como objetivo dos finalidades: lo primero era diseñar una estructura de costos que permita fijar en forma eficiente y eficaz los costos en los cuales se incurre en los procesos de transporte, permitiendo conocer el costo real del servicio prestado; y lo segundo era la fijación de un precio óptimo del servicio por medio de herramientas financieras (Costo promedio ponderado de capital) [9]. para el año 2014 Anif elabora un libro para la Cámara Colombiana de la Infraestructura donde analiza y compara los Costos de transporte, Multimodalismo y la competitividad de Colombia en dicho análisis se evalúan las variables de cada modo de transporte y sus comparaciones en los costos en Colombia y otros países [10]. Una comparación de costo hizo el periódico dinero en el año 2014 cuando resaltaba que es tres veces más barato mandar un contenedor de Colombia a China que dentro de Colombia estos análisis son fundamento para el desarrollo investigativo en solución de esta problemática [11].

Con fundamento en estudios e investigaciones realizadas en el transporte en Colombia, haremos un breve recorrido por las más recientes publicaciones de artículos y documentos investigativos, tomados como soporte para nuestra investigación las experiencias y los resultados obtenidos.

En un artículo publicado por Juan Céspedes, en el periódico digital Loginews el 15 de febrero del 2018 se evidencia un claro crecimiento en los costos del transporte de carga por carretera en el Colombia de un 4.72% en el 2017. Esto aumenta la necesidad y el pronto desarrollo de investigar sobre un modelo que minimice los costos del transporte de carga por carretera [5]. Siendo útil y de manera importante en el año 2017 el Economista de la Universidad del Atlántico y Master en Logística integral de la Universidad Autónoma de Barcelona – España, Rodolfo Enrique Silvera y la ingeniera industrial de la Universidad del Atlántico. Tecnóloga en Gestión logística del Sena. Dannys Patricia Mendosa hacen un libro llamado “Costos logísticos del transporte terrestre de

carga en Colombia” basado en el estudio y el análisis de estrategias y herramientas que nos permiten tener un mejor control de los costos del transporte de carga por carretera [6]. Así mismo el 5 de junio del año 2016 la periodista [Mónica Andrea Saavedra Crespo](#) del periódico EL MUNDO .COM publica un artículo donde el Departamento Nacional de Planeación DNP en conjunto con la Presidencia de la República, buscan reducir este porcentaje de costos logísticos de un 14.7% a 12% para el año 2030. Para esto se quiere identificar un paquete de medidas que, en articulación con las demás entidades involucradas, permita reducir los costos de logística y mejorar la competitividad de las empresas y del país [7]. por otra parte la revista mexicana de ciencia agrícola público el 7 de septiembre de 2015, un artículo de una investigación realizada en 2014, con la finalidad de desarrollar un modelo que les permitiera mejorar la distribución del producto a través de la minimización de costos del transporte, para esto diseñaron el modelo de transporte correspondiente basados en técnicas matemáticas de la programación lineal y en el método de costo mínimo donde asigna la mayor cantidad posible de oferta a menor costo unitario [8]. La universidad de Medellín especialización en gestión financiera empresarial en el 2015 diseño un modelo de estructura de costos de transporte aplicable a la Compañía Icoltrans S.A.S; su proyección tuvo como objetivo dos finalidades: lo primero era diseñar una estructura de costos que permita fijar en forma eficiente y eficaz los costos en los cuales se incurre en los procesos de transporte, permitiendo conocer el costo real del servicio prestado; y lo segundo era la fijación de un precio óptimo del servicio por medio de herramientas financieras (Costo promedio ponderado de capital) [9]. para el año 2014 Anif elabora un libro para la Cámara Colombiana de la Infraestructura donde analiza y compara los Costos de transporte, Multimodalismo y la competitividad de Colombia en dicho análisis se evalúan las variables de cada modo de transporte y sus comparaciones en los costos en Colombia y otros países [10]. Una comparación de costo hizo el periódico dinero en el año 2014 cuando resaltaba que es tres veces más barato mandar un contenedor de Colombia a China que dentro de Colombia estos análisis son fundamento para el desarrollo investigativo en solución de esta problemática [11].

## Metodología

En la presente investigación se utiliza un enfoque inductivo en el cual su principal característica es el poder sacar conclusiones generales partiendo de hechos particulares. Al indagar sobre el transporte terrestre en Colombia podemos decir que este ha sufrido diferentes cambios, a medida que pasa el tiempo va cambiando y ha tomado gran importancia en el desarrollo económico del país por ende se lleva una investigación que apunta hacia lo que puede afectar o está afectando negativamente su desarrollo como lo son los costos de transporte [12]. Al aplicar el enfoque inductivo nos basamos en observar todos estos cambios, estudiado cada acontecimiento, cada factor que interfiere en su buen desarrollo, acumulando la mayor cantidad de datos posibles que nos ayuden a llegar a la mejor conclusión y a una propuesta colaborativa que ayude a minimizar estos costos [13].

También se maneja un tipo de investigación aplicada o empírica en donde se busca dar solución a un problema específico mediante técnicas de optimización existentes. Para este caso se busca minimizar esos costos que hacen que transporte terrestre en Colombia no sea el más eficiente, a medida que se vaya investigando se van identificando variables y factores que ayudaran a obtener el objetivo planteado [12]. Esto basado en la adquisición de conocimientos que ayudaran a resolver una situación que se vive actualmente [14].

## Fuentes de información

Se toman fuentes de información secundarias como libros, artículos y documentos especializados, fuentes precisas como páginas web especializadas, una base teórica cualitativa y cuantitativa que analiza cada aporte, investigación e información en el web, que tratan sobre el desarrollo de modelos de optimización colaborativos, el transporte terrestre en Colombia y las variantes que este ha tenido [15].

## Población y muestra

La población objetivo comprende todos aquellos operadores logísticos y empresas en Colombia cuyo principal medio de transporte de mercancía sea terrestre. La muestra estará representada por un caso de estudio, en el cual tomaremos la estructura de costos propuesta por el ministerio de transporte en Colombia.

## Costos de transporte por carretera

El ministerio de transporte de Colombia, presenta una estructura de costos por carretera, los cuales dependen de diferentes factores, que serán representados a través de las siguientes tablas.

Tabla 1. Tipos de vehículos

TIPOS DE VEHICULOS	
Vehículo dos ejes	
Vehículo tres ejes	
Articulado	

Fuente: Ministerio de transporte de Colombia [16]

Tabla 2. Vehiculos

VEHICULOS	
3S3	Tractocamión Kenworth T800 Motor Cummins ISX 435
3S2	Tractocamión Kenworth T800 Motor Cummins ISX 435
2S2	Vehículo minimula Internacional 7600 Cummins ISX
C3	Vehículo dobleroque internacional 7600 Cummins ISM
C2	Vehículo sencillo Chevrolet Kodiak Caterpillar 3126

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

El ministerio de transporte en la resolución 004100 de 2004 determina los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre de carga por carretera en el país, estos se determinan valiéndose de la norma, técnica nacional donde a través de letras se pueden identificar, para el transporte de carga se usa la letra C, semirremolque la letra S y un remolque R.

Así mismo se hace una combinación de las letras y el número de ejes que el vehículo tenga, C2 nos dice vehículo de 2 ejes, C3 vehículo con 3 ejes, entre otros.

**PESOS MÁXIMOS PERMITIDOS EN COLOMBIA**  
(Incluye peso del vehículo)

COD.	TIPO VEHICULO	ESQUEMA DEL VEHICULO	CAPACIDAD CARGA (TON)	METROS CUBICOS	MEDIDAS	PESO TOTAL VEHICULAR
C2	TURBO		4.5	21.5	4.5 Largo 2.2 Ancho 2.2 Alto	8
C2	SENCILLO		8	37	6.5 Largo 2.4 Ancho 2.4 Alto	16
C3	DOBLETROQUE		17	40	8.5 Largo 2.4 Ancho 2.4 Alto	28
C3	DOBLETROQUE CUATRO MANOS		24	40	8.5 Largo 2.4 Ancho 2.4 Alto	32
C2 S2	MINIMULA (Patineta)		17	72	12.5 Largo 2.4 Ancho 2.4 Alto	39
C3 S3	TRACTOMULA 3 EJES		35	72	12.5 Largo 2.4 Ancho 2.4 Alto	52

Fig. 1. Capacidad (en toneladas) de los vehículos, Fuente: [17]

Tabla 3. Tipología de carga

TIPOLOGIA DE CARGA
General
Contenerizada
Refrigerada
Graneles Solidos
Graneles Líquidos

Fuente: Ministerio de transporte de Colombia [16].

La tipología de carga es el bien dado para trasladar de un lugar a otro dentro de las cuales podemos encontrar varios tipos para así dar un buen manejo a lo que se está transportando ya que dependiendo al tipo de carga se determina el tipo de vehículo adecuado a lo que se transportara.

Tabla 4. Elementos de costo de transporte

ELEMENTOS	Costos Variables	\$/KM
	Costos Fijos	\$/Mes
	Otros costos	Facturación

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

## COSTOS VARIABLES

Tabla 5. Costos variables

Peaje
Combustible
Llantas
Lubricantes
Filtros
Mantenimiento
Servicio de estación
Imprevistos

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

Los costos variables son aquellos que describe la tabla V, porque son aquellos que varían directamente con el volumen de la producción.

Tabla 6. Elementos de calculo del costo

ELEMENTOS DE CALCULO	
Indicador de costo Variable	Frecuencia
	Precio
	Cantidad

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

Los costos Variables se calculan teniendo en cuenta la frecuencia con que se utiliza, el precio, y la cantidad de mercancía que se desee transportar.

Tabla 7. Tipos de peajes

PEAJE	Valor peaje por ruta
TIPOS	Concesionados
	A cargo Invias
	Entes Territoriales

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

En el costo variable también se tiene en cuenta los peajes y su precio varía de acuerdo al tipo de peaje como lo describe la tabla VII.

Tabla 8. Consumo de combustible

CONSUMO DE COMBUSTIBLE (Según tipos de terreno)				
	Tipo de terreno	Pendiente %	Grado de curvatura	Radio(mts) Equivalente
Pavimento	plano	0-3	4	286
	ondulado	3-6	10	115
	Montañoso	>6	20	57

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

Se debe tener en cuenta la distancia total entre origen y destino de la ruta a estudiar y es necesario caracterizar la ruta topográficamente, clasificándola en segmentos planos, ondulados, montañosos de acuerdo a los parámetros de la tabla anterior [16].

Tabla 9. Indicador de consumo

INDICADOR CONSUMO DE COMBUSTIBLE
$\frac{\text{Precio combustible } \$/\text{Gal}}{\text{Consumo Km./Gal}}$

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

TABLA 10. Consumo de combustible según el terreno

CONSUMO DE COMBUSTIBLE					
Insumo /tipo de vehículo	3S3	3S2	2S2	C3	C2
Consumo de combustible en plano (km/Gln)	6,48	6,8	8,76	8,06	12,7
Consumo de combustible ondulado (km/Gln)	4,8	5,04	6,76	6,22	10,01
Consumo de combustible montañoso (km/Gln)	3,26	3,42	5,07	4,66	7,81

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

El tipo de vehículo, su capacidad y las condiciones de la vía es determinante al momento de ver el consumo de combustible en los vehículos de carga terrestre como se muestra en el cuadro observamos la durabilidad de un galón según el vehículo, ejemplo en vía plana y pavimentada un C2 (vehículo de carga de dos ejes) un galón de combustible tiene una duración promedio de 12km.

Tabla 11. Consumo de combustible carga refrigerada

CONSUMO DE COMBUSTIBLE (Carga refrigerada)		
Tipo de Vehículo	Capacidad volumétrica (m3)	Consumo de combustible equipo de refrigeración (Gln/h)
Tractocamión(3S3)	70	1,00
Tractocamión (3S2)	70	1,00
Sencillo (C2)	42	0,60
Dobletroque (C3)	51	0,73

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

En el tipo de carga refrigerada, el equipo de refrigeración tiene un consumo adicional de combustible, a razón de 1 galón/hora para un tracto camión de 70m<sup>3</sup> [16].

Tabla 12. Indicador consumo de llanta

INDICADOR CONSUMO DE LLANTA					
$(\$/\text{KM}) = \frac{\sum \text{Numero de llantas} \cdot \$/\text{llantas}}{\text{Duracion llanta Km}}$					
Insumo/tipo de vehículos	3S3	3S2	2S2	C3	C2
Llantas(\$/km)	\$ 348,90	\$ 295,12	\$ 219,83	\$187,55	\$112,26
<b>INCLUYE</b>					
➤ Direccional					
➤ Tracción					
➤ Ejes Libres					

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

Tabla 13. Tipos de llantas

LLANTAS			
RADIAL		CONVENCIONAL	
direccional	70000 km	direccional	30000 km
tracción	70000 km	tracción	37375 km
ejes libres	120000 km	ejes libres	62000 km

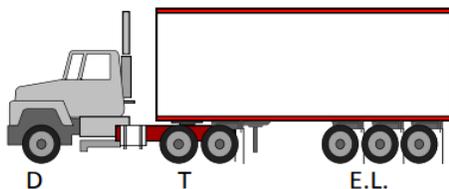


Fig. 2. Representación tipos de llantas, Fuente: [18]

Para el indicador de consumo llantas al momento de transportar es importante saber cuántos kilómetros en promedio tienen los tipos de llantas, la duración de la llanta es el factor principal para realizar el cálculo, este se realiza de forma individual (direccional- tracción- ejes libres) y al final la operación realizada en estas al ser sumadas nos dan como resultado el consumo por vehículo.

Tabla 14. Indicador consumo de lubricantes

INDICADOR CONSUMO DE LUBRICANTES						
$(\$/KM) = \sum \frac{\text{Numero lubricantes} \cdot \$/\text{lubricante}}{\text{Duracion lubricante en Km}}$						
Insumo/tipo de vehículos	de	3S3	3S2	2S2	C3	C2
Lubricantes (\$/km)		\$ 72,53	\$ 72,53	\$ 58,41	\$ 72,53	\$ 53,16
INCLUYE						
➤ Motor						
➤ Diferencial						
➤ Caja de cambios						

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

Tabla 15. Lubricantes

LUBRICANTES		
MOTOR	CAJA O TRANSMISION	DIFERENCIALES
6000KM	35000KM	35000KK

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

En el indicador de consumo de lubricantes es importante saber el precio del lubricante a usar, el número de lubricantes y la duración de los lubricantes en la anterior imagen podemos mirar esta duración la cual define el valor a tomar en total.

Tabla 16. Indicador consumo de filtro

INDICADOR CONSUMO DE FILTRO					
$(\$/KM) = \sum \frac{\text{Numero filtros} \cdot \$/\text{filtro}}{\text{Duracion filtro en Km}}$					
Insumo/tipo de vehículos	3S3	3S2	2S2	C3	C2
Filtros (\$/km)	\$ 35,40	\$ 35,40	\$ 22,05	\$ 22,05	\$ 16,58
INCLUYE					
➤ Combustible					
➤ Aire					
➤ Aceite					
➤ By pass					

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

Tabla 17. Tipos de filtros

FILTROS				
AIRE	ACEITE	COMBUSTIBLE	AGUA	BY PASS
10000 KM	6000 KM	7500 KM	10000 KM	7500 KM

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

En el indicador de consumo de filtro es importante conocer la duración en kilómetros de estos mismos para poder así calcular su valor por kilómetro, indispensable para tener este costo como factor determinante al momento de plantear el costo a cobrar según el destino y los kilómetros a recorrer para llegar a este mismo.

Existen diferentes tipos de filtros, hay que tener presente cuanto es el desgaste de estos por kilómetro.

Tabla 18. Indicador de mantenimiento

INDICADOR DE MANTENIMIENTO					
$(\$/KM) = \sum \frac{\text{Respuestos} \cdot \$ \text{mano de obra}}{\text{Numero de Km de reparacion}}$					
Insumo/tipo de vehículos	3S3	3S2	2S2	C3	C2
Mantenimiento y reparaciones (\$/km)	374,21	374,21	374,21	284,81	274,54
INCLUYE					

Motor	Rodamiento
Diferencial	Suspensión
Frenos	Latonería y pintura
Eléctricos	Dirección
Inyección	Tráiler
Caja de velocidad	Embrague

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

Es indispensable tener presente el costo de mantenimiento vehicular al momento de establecer el costo del flete según los kilómetros a recorrer, donde se debe sumar el costo de los repuestos y el costo de la mano de obra para hacerle el mantenimiento a estos mismos, de esta manera se cuida la duración de todos esos repuestos que constituyen los vehículos de carga, en el cuadro podemos observar la cantidad de kilómetros en los que es necesario realizar ese mantenimiento según el tipo de vehículo y así poder calcular el costo total de manteniendo.

Tabla 19. Servicio de estacion

SERVICIO DE ESTACION = Lavado y Engrase					
Insumo /tipo de vehículo	3S3	3S2	2S2	C3	C2
Lavado y engrase(\$/Km)	32,90	32,90	25,00	25,00	20,00

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

El servicio de estación (lavado y engrase) varía dependiendo del tipo de vehículo y este se da en (\$/kilómetros).

Tabla 20. Imprevistos

IMPREVISTOS
=7,5% x (Consumo de llantas + Consumo de lubricantes + Consumo de mantenimiento y reparaciones)

Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia [16].

Imprevisto es un factor de seguridad para cubrir cualquier novedad que pueda repercutir en un incremento en los costos de operación [16].

En los imprevistos se debe tener en cuenta diferentes indicadores de costos variables como el consumo de llantas, consumo de lubricantes, consumo de mantenimiento, teniendo este valor total se multiplica por

el 7.5% el cual determinara el costo a esos gastos imprevistos que pueden ocurrir al momento de realizar transporte de carga por carretera.

### Modelo matemático

**Programación Lineal:** Es un algoritmo a través de la cual se resuelven situaciones reales en las que se pretende identificar y resolver dificultades, el objetivo primordial es optimizar.

Es este caso, minimizar los costos variables del transporte por carretera en Colombia.

**Variable de decisión:** Son las incógnitas que debemos determinar a partir de la solución del modelo.

$X_{ijk}$  = Cantidad de vehículo tipo  $i$ , asignado de  $j$  a  $k$

### Factores

$D_{jk}$  = Distancia entre  $j$  a  $k$  (km)

$C_{ijk}$  = Costos por km de vehículo  $i$  en el tramo de  $j$  a  $k$  (\$/km)

$C_{pi}$  = Capacidad de carga del vehículo  $i$  (toneladas)

$Q_{jk}$  = Cantidad necesaria a transportar de  $j$  a  $k$  (toneladas)

**Función Objetivo:** Es la ecuación que optimizaremos a partir de las restricciones determinadas y con las variables que necesitamos minimizar.

$$Z_{min} = \sum_{i=1}^N C_i * D_{jk} * X_{ijk}$$

**Restricciones:** Es todo aquello que limita la libertad de los valores que pueden tomar las variables de decisión.

$$\sum_{vi} c_{pi} * x_{ijk} \geq Q_{jk}; \text{ con } x_{ijk} \geq 0$$

## VI. Calculo de costos variables \$/k

Tabla XXI. Calculo de costos

COSTOS VARIABLES	RUTA BARRANQUILLA- CARTAGENA				
	TIEMPO APROXIMADO: 2H:05MIN		DISTANCIA: 112 Km		
	3S3	3S2	2S2	C3	C2
PEAJE	1738	554	396	313	346
COMBUSTIBLE	1421.14	1354	1051.256	1142.56	725.12
LLANTAS	348.9	295.1	219.83	187.55	112.26
LUBRICANTES	72.53	72.53	58.41	72.53	53.16
FILTROS	35.4	35.4	22.05	22.05	16.58
MANTENIMIENTOS	374.21	374.2	374.21	284.81	274.54
SERVICIO DE ESTACION	32.9	32.9	25	25	20
IMPREVISTO	59.673	55.64	48.93375	40.8668	32.997
<b>TOTAL DE COSTO (Ci (\$/km))</b>	<b>4082</b>	<b>2774</b>	<b>2195</b>	<b>2089</b>	<b>1580</b>
DISTANCIA ENTRE $j$ y $k$ (Djk)	112				
<b>CAPACIDAD DE CARGA (TON) vehiculo i</b>	35	32	17	17	8

En las tablas anteriores se calculan los costos variables de cuatro rutas. **VI. CALCULO DE COSTOS VARIABLES \$/K**

En las tablas anteriores se calculan los costos variables de cuatro rutas Barranquilla- Santa Marta, Barranquilla- Cartagena, Barranquilla-Medellín, Barranquilla-Bogotá según lo establecido por el ministerio de transporte de Colombia.

La solución fue encontrada por Solver- Excel para las rutas anteriores.

Según la capacidad en toneladas que tiene cada vehículo, Solver- Excel, resolvió que en cada ruta se necesitan, la cantidad de los siguientes vehículos, para que el costo del transporte sea el menor posible.

#### **Ruta Barranquilla- Medellín**

X113= Vehículo 3S3 Tractocamión Kenworth T800 Motor Cummins ISX 435, se pueden asignar 3,428, es decir 4 vehículos.

#### **Ruta Barranquilla- Bogotá**

X114= Vehículo 3S3 Tractocamión Kenworth T800 Motor Cummins ISX 435, se pueden asignar 2,285, es decir 3 vehículos.

#### **Ruta Barranquilla- Santa Marta**

X211= Vehículo 3S2 Tractocamión Kenworth T800 Motor Cummins ISX 435, se pueden asignar 3,125, es decir 4 vehículos.

#### **Ruta Barranquilla- Cartagena**

X212= Vehículo 3S2 Tractocamión Kenworth T800 Motor Cummins ISX 435, se pueden asignar 4,687, es decir 5 vehículos.

Mediante esta solución se reduce el costo de transporte por carretera y obtenemos una mejor distribución de las toneladas en los vehículos que tenemos disponibles, teniendo en cuenta las toneladas que se deben distribuir en cada ruta y poder satisfacer la entrega oportuna de cada una.

#### **Conclusion**

La optimización de los costos variables se llevó a cabo, porque estos costos tienden a ser elevados, debido a que

la construcción y mantenimiento de las carreteras son pagadas por los usuarios por medio de los peajes, impuestos de combustible y los impuestos por la relación de peso/kilometraje. Estos costos deben siempre ser calculados por kilómetro recorrido, entre los más representativos tenemos la gasolina, el aceite, los peajes, las llantas. A través del modelo colaborativo planteado, se optimizan los costos variables del transporte de carga por carretera en Colombia, basándonos en los datos que suministra el ministerio de transporte de Colombia [19].

Concluimos que disminuir los sobrecostos en el transporte de carga terrestre está ligado a desarrollar estrategias conjuntas que incluyan a todo el gremio empresarial que interviene en este sector y en su proceso, dando como resultado una mejoría en la economía de la región y por ende del país. Este modelo de optimización colaborativo apunta también a un mejor posicionamiento, haciendo más competitivo al sector; considerando Costos variables y volúmenes de carga.

#### **Referencias**

- [1] O. B. SCHOOL, 31 08 2018. <https://www.obs-edu.com/int/blog-investigacion/operaciones-y-logistica/la-logistica-colaborativa>.
- [2] N. R. Obando, «optimizacion de la cadena de suministro mediante un modelo que incorpora su impacto en el cambio climatico,» *Tecnología en Marcha*, vol. 30, n° 4, pp. 118-129, 12 05 2018.
- [3] Pulido-Rojano, A., Sanchez-Sanchez, P Y Melamed-Varela, E, “Nuevas tendencias en Investigación y Ciencias Administrativas,» Ediciones Universidad Simon Bolivar, Barranquilla, Colombia, 2018.
- [4] E. P. Xavier, «Posted By Betty Mentagui,» 10 02 2015. [En línea]. Available: <http://laclasedeoscaboluda.blogspot.com/2015/02/los->
- [5] E. Sanchez, «Desarrollo de herramientas Gerenciales para la optimizacion del transporte de carga por carretera,» Edgardo Sanchez. Esconcultoria, 2018.
- [6] SAFERBO, «SAFERBO,»: <https://www.saferbo.com/>.

- [7] M. D. TRANSPORTE, «Modelo para la Determinacion de costo de referencia,» Bogota.
- [8] Sanchez-Sanchez, P., Garcia-Gonzalez, J., Fajardo-Toro, C.H., Pulido-Rojano.A. Y Melamed-Varela, E, «Nuevas tendencias en investigacion de operaciones y ciencias administrativas: Un enfoque desde estudios iberoamericanos,» Edición Universidad Simon Bolívar, Barranquilla, Colombia, 2018.
- [9] J. Jiménez, J.C. Mojica, H.G. Hernández., y Diego Cardona. Diagnóstico de la Innovación y Desarrollo Tecnológico en el Sector Hotelero de la Región Caribe Colombiana, Información Tecnológica Vol. 29(5), 157-164, 2018.
- [10] E. Steffens, D. Ojeda, O. Martínez, J. García, H. Hernández, 5; F. Marin., Niveles de pensamiento crítico en estudiantes de Universidades en Barranquilla (Colombia), Espacios, vol. 38 (30), 2017.
- [11] J. Ortega, Importancia de la seguridad de los trabajadores en el cumplimiento de procesos. procedimientos y funciones, Academia y Derecho, 14., 2017.