



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**PROGRAMACIÓN DE RUTAS CRÍTICAS EN UNA
INDUSTRIA PAPELERA DEL MUNICIPIO DE
SABANETA, ANTIOQUIA**

Laura Catalina Mejía Zapata
Jorge Alberto Suarez Zuluaga

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Medellín, Colombia
2020



Programación de rutas críticas en una industria papelera del municipio de Sabaneta,
Antioquia

Laura Catalina Mejía Zapata
Jorge Alberto Suarez Zuluaga

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al
título de:
Especialista en Logística Integral

Asesores (a):
William Marín Marín, Ingeniero Industrial
Gloria Milena Osorno Osorio, Magíster en Ingeniería

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Medellín, Colombia
2020

Programación de rutas críticas en una industria papelera del municipio de Sabaneta, Antioquia¹.

Laura Catalina Mejía Zapata², Jorge Alberto Suárez Zuluaga³.

Resumen:

El caso de estudio consideró las decisiones para el ruteo de vehículos y la programación de rutas para los denominados clientes críticos, las cuales sirvieron para identificar la solución más óptima que generara la mayor eficiencia en la operación de la empresa de estudio, con el fin de mejorar los indicadores del nivel de servicio. El nivel de cumplimiento se abordó desde los antecedentes que ha tenido la organización, las restricciones en el despacho de vehículos, las consideraciones de capacidad de los mismos, así como la integración del área de logística con producción y comercial, esto con el objetivo de tener disponibilidad de datos e insumos para abordar de forma correcta las entregas, evaluando los indicadores de desempeño con los que actualmente cuenta el área de logística y proponiendo métodos de programación de rutas que permitieran establecer, bajo criterios de eficiencia y servicio, la metodología que mejor se ajustara a las necesidades de la organización y de esta manera lograr una programación eficiente y una mejora en los indicadores evaluados.

Se obtuvieron diagnósticos iniciales los cuales permitieron conocer el estado actual de la compañía y del área de logística, se usaron métodos como espina de pescado que ayudaron a entender la situación problemática, el estado de los indicadores actuales y su funcionamiento, además se abordaron las posibles soluciones que impactaron en la organización, teniendo en consideración factores como la ubicación geográfica, los tiempos de desplazamientos y las condiciones de movilidad que se presentan en la región.

Palabras claves: clientes críticos, optimización, programación de rutas, ruteo de vehículos, indicadores de desempeño.

¹ Monografía Especialización en Logística Integral. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia.
Asesor Temático: William Marín Marín. Profesor, Especialización en Logística Integral, Universidad de Antioquia
Asesor Metodológico: Gloria Osorno. Profesora, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia

² Especialista en Logística Integral. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Ingeniera Industrial

³ Especialista en Logística Integral. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Ingeniero Industrial

1. Introducción

Uno de los principales aspectos de la logística hace referencia al tema del transporte y por tanto al ruteo de los vehículos ya sean propios o rentados, el cual se vuelve primordial dentro de la cadena de abastecimiento y que ligado a la planificación de la operación se convierten en ficha clave para la optimización del proceso logístico, es ahí donde cobra vital importancia un método adecuado de programación de los mismos (vehículos). Otro de los factores importantes a mencionar dentro del proceso logístico es el uso de los empaques tal que cumplan con objetivos primarios de transporte y preservación, pero adicional que sea amigable con el medio ambiente y represente un bajo costo, dichos empaques hacen parte del proceso productivo de la empresa en la cual se centra este estudio. La industria del papel, cartón y cartón corrugado representa una gran importancia a la hora de suplir esta necesidad debido a que cumplen con las características de bajo costo, bajo peso y ser material 100% reciclable, convirtiendo a las empresas productoras de cartón y sus derivados en actores número uno de la logística y del desarrollo de productos. El dinamismo de la industria de empaques y embalajes en Colombia entre ellas las de papel y cartón se ha venido incrementando de tal manera que ya se cuenta con una de las ferias más importantes de América Latina el Andina-Pack evento que reúne más de 530 expositores nacionales e internacionales que demuestra la importancia de este sector para el país [1]. “Según información de Andina-Pack, en América Latina la participación en el mercado de envases y embalajes está liderada por los empaques rígidos, incluidas las botellas de PET, con un 33,8%, luego se encuentran los empaques de papel y cartón con participaciones de 27% y los empaques flexibles 15,6%, respectivamente lo que demuestra el gran aporte del sector del papel en los empaques y embalajes” [2]. La fabricación de los empaques en cartón y cartón corrugado representa una ventaja para el transporte debido a que son productos que no tienen altas exigencias en el almacenamiento y tampoco a la manera como se empacan para ser repartidos a los clientes.

El desarrollo de este estudio se realiza en una empresa mediana ubicada en el municipio de Sabaneta, Antioquia la cual inició sus operaciones en el año 1980 como empresa constituida. Está dedicada a la producción de papel, cartón compacto, cartón corrugado, láminas y cajas de cartón a partir de material 100% reciclado. Actualmente la empresa cuenta con aproximadamente 300 empleados incluyendo el personal administrativo constituido en áreas como financiera, calidad, gestión humana, producción, comercial y logística, siendo esta última el área de estudio.

El área de comercial y logística de la empresa en cuestión tiene como objetivo principal establecer la metodología a seguir para realizar el seguimiento de los pedidos con el fin de asegurar la integridad de la carga y el cumplimiento de las entregas oportunas a los clientes. En el momento la empresa cuenta con un archivo en Excel, llamado “módulo de inventarios” en donde se programan los pedidos, el cual está compuesto de ítems que permiten al área encargada revisar cuáles productos están pendientes por entregar. El archivo cuenta con una programación interna en Visual Basic que permite dar la alerta en color rojo de aquellas líneas de producto que se encuentran atrasadas y cuantos días de retraso tienen, esto permite tener una visión holística de la situación y del estado de las entregas en tiempo real, así mismo permite identificar cuáles son las entregas más urgentes (aquellas con las fechas de entrega más retrasadas y que representan una prioridad para los clientes) y programar los vehículos para no seguir incurriendo en días de atraso. Esta herramienta representa una gran ayuda a la programación y al seguimiento de los despachos en el sistema. En la Figura 1 se pueden visualizar el módulo de inventarios el cual contiene datos tales como número de pedido, cliente, código interno, descripción del producto, línea de producto, fecha de entrega y fecha programada en producción.

LINEA	NOMBRE CLIENTE	ARTICULO	DESCRIPCION	LINEA	FECHA P	FECHA R
D56166	MASTERCAS S.A.S.	139999P120	SINGLE FACE DE 120 cm	13	26-08-19	02-09-19
D56221	MASTERCAS S.A.S.	12C45004300770	LAMINA C450 43 X 77 cm	12	28-08-19	03-09-19
D56221	MASTERCAS S.A.S.	12C45005681617	LAMINA C450 56.8 X 161.7 cm	12	28-08-19	03-09-19
D56220	MASTERCAS S.A.S.	12C45009021937	LAMINA C450 90.2 X 193.7 cm	12	28-08-19	03-09-19
D56251	MASTERCAS S.A.S.	139999P120	SINGLE FACE DE 120 cm	13	29-08-19	04-09-19
D56293	MASTERCAS S.A.S.	12B45004421377	LAMINA B450 44.2 X 137.7 cm	12	02-09-19	05-09-19
D56266	MASTERCAS S.A.S.	12C45004671557	LAMINA C450 46.7 X 155.7 cm	12	30-08-19	05-09-19
D56266	MASTERCAS S.A.S.	12C45006171557	LAMINA C450 61.7 X 155.7 cm	12	30-08-19	05-09-19
D56370	MASTERCAS S.A.S.	12B45009010463	LAMINA B450 90.1 X 46.3 cm	12	04-09-19	06-09-19
D56294	MASTERCAS S.A.S.	12B45004000650	LAMINA B450 40.0 X 65.0 cm	12	02-09-19	09-09-19
D56312	MASTERCAS S.A.S.	12B45005730678	LAMINA B450 57.3 X 67.8 cm	12	02-09-19	09-09-19
D56294	MASTERCAS S.A.S.	12C45004100430	LAMINA C450 41 X 43 cm	12	02-09-19	09-09-19
D56312	MASTERCAS S.A.S.	12C45004520810	LAMINA C450 45.2 X 81 cm	12	02-09-19	09-09-19
D56312	MASTERCAS S.A.S.	12C45006181617	LAMINA C450 61.8 X 161.7 cm	12	02-09-19	09-09-19
D56341	MASTERCAS S.A.S.	161472400C0553	HOJA CHIP 400C 55.3 X 64 cm	12	03-09-19	09-09-19
D56436	MASTERCAS S.A.S.	12B45003001160	LAMINA B450 30.0 X 116 cm	12	10-09-19	16-09-19
D56437	MASTERCAS S.A.S.	12B45004850580	LAMINA B450 48.5 X 58.0 cm	12	10-09-19	16-09-19
D56433	MASTERCAS S.A.S.	12B45004850580	LAMINA B450 48.5 X 58.0 cm	12	10-09-19	16-09-19
D56431	MASTERCAS S.A.S.	12B45005550720	LAMINA B450 55.5 X 72.0 cm	12	10-09-19	16-09-19
D56431	MASTERCAS S.A.S.	12B45005700640	LAMINA B450 57 X 64 cm	12	10-09-19	16-09-19

Figura 1: Módulo de inventarios parte 1

Fuente: Sharepoint industria papelera

La Figura 2 muestra la descripción del producto, la línea de producto, la fecha de entrega, la fecha de producción, los días de retraso (en rojo), las cantidades pedidas, las cantidades en inventario, las cantidades pendientes por fabricar y las cantidades que se deben al cliente (en rojo).

ID	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	FECHA ENTREGA	FECHA PRODUCCIÓN	DIAS_ATR	CANTIDAD PEDIDA	CANTIDAD EN INVENTARIO	CANTIDAD PENDIENTE	CANTIDAD DEBE AL CLIENTE
27	SINGLE FACE DE 120 cm	13	26-08-19	02-09-19	10	2000	1345	655	0
31	LAMIINA C450 43 X 77 cm	12	28-08-19	03-09-19	9	1100	0	1100	0
32	LAMINA C450 56.8 X 161.7 cm	12	28-08-19	03-09-19	9	990	0	990	0
33	LAMINA C450 90.2 X 193.7 cm	12	28-08-19	03-09-19	9	330	0	330	0
39	SINGLE FACE DE 120 cm	13	29-08-19	04-09-19	8	2000	0	2000	10818
44	LAMINA B450 44.2 X 137.7 cm	12	02-09-19	05-09-19	7	200	0	200	#N/D
45	LAMINA C450 46.7 X 155.7 cm	12	30-08-19	05-09-19	7	200	0	200	0
46	LAMINA C450 61.7 X 155.7 cm	12	30-08-19	05-09-19	7	200	0	200	0
59	LAMINA B450 90.1 X 46.3 cm	12	04-09-19	06-09-19	6	300	0	300	#REF!
82	LAMINA B450 40.0 X 65.0 cm	12	02-09-19	09-09-19	3	14000	0	14000	14000
83	LAMINA B450 57.3 X 67.8 cm	12	02-09-19	09-09-19	3	3300	0	3300	3300
85	LAMINA C450 41 X 43 cm	12	02-09-19	09-09-19	3	2200	0	2200	2200
86	LAMINA C450 45.2 X 81 cm	12	02-09-19	09-09-19	3	3300	0	3300	0
87	LAMINA C450 61.8 X 161.7 cm	12	02-09-19	09-09-19	3	1100	0	1100	0
103	HOJA CHIP 400C 55.3 X 64 cm	12	03-09-19	09-09-19	3	1100	0	1100	#N/D
319	LAMINA B450 30.0 X 116 cm	12	10-09-19	16-09-19	-4	4400	0	4400	0
320	LAMINA B450 48.5 X 58.0 cm	12	10-09-19	16-09-19	-4	3000	0	3000	0
321	LAMINA B450 48.5 X 58.0 cm	12	10-09-19	16-09-19	-4	8000	0	8000	0
322	LAMINA B450 55.5 X 72.0 cm	12	10-09-19	16-09-19	-4	8000	0	8000	0
323	LAMINA B450 57 X 64 cm	12	10-09-19	16-09-19	-4	5000	0	5000	0

Figura 2. Módulo de inventarios parte 2

Fuente: Sharepoint industria papelera

La empresa cuenta con nueve vehículos propios (camiones rígidos), los cuales son programados de manera cualitativa siguiendo parámetros tales como urgencia de los clientes para recibir el producto, referencias que se encuentren en la misma ruta, clientes que son prioridad para los asesores comerciales y para el gerente, entre otros. En la actualidad la empresa cuenta con siete conductores y ocho ayudantes, el número ideal son nueve conductores y nueve ayudantes para suplir el total de las rutas.

La programación de las entregas se hace principalmente teniendo en cuenta las urgencias de los clientes, existen fechas de entrega, pero estas no son relevantes a la hora de programar las rutas y los despachos a los clientes, sino que se empieza a depurar por las fechas de entrega más antiguas. Se hace con un día de anticipación o el mismo día de la entrega. Se asegura que cada vehículo cumpla al menos con dos entregas en un mismo día, generalmente los vehículos van con carga completa a los clientes, cuando no sucede esto, se completa la carga con productos en espera según lo indica el “módulo de inventarios” y que se encuentre sobre la misma ruta, de lo contrario se programan los camiones con carga completa a las rutas más lejanas y las demás a los clientes que

se encuentran más cercanos a la empresa, asegurando que se haga una entrega y regrese el camión para ser cargado nuevamente y enviado al siguiente cliente. Las entregas se programan por citas que asignan los clientes según disponibilidad para recibir, hay ocasiones en las que los camiones deben esperar al descargue de los anteriores a los mismos que se encuentren en el sitio de la entrega. Esto puede retardar hasta dos horas más el proceso de descargue del camión y por tanto el regreso a la empresa. Sin embargo, el hecho de no contar con un método cuantitativo de programación de los vehículos, hace que se incurra en incumplimientos en las entregas de mercancía a los diferentes clientes por la poca o nula disponibilidad de los mismos al momento del cargue, sumado a esto la falta de un tiempo estimado que permita tener una idea del tiempo de recorrido y de descargue de cada vehículo.

El área de comercial y logística tiene actualmente un sistema de indicadores los cuales son usados para medir mensualmente las entregas a los clientes, dentro de dichos indicadores se encuentran:

ON TIME: El indicador pretende medir el porcentaje de número de líneas entregadas a tiempo (líneas entregadas a tiempo/líneas totales), la meta corresponde a un 80%. La Figura 3 muestra el resultado del cumplimiento mes a mes en lo corrido del año 2019 para dicho indicador. Se puede observar como del total de meses referenciados en la gráfica en ninguno de ellos se cumple con la meta. Se hace una revisión del Sharepoint de la empresa, herramienta donde se consignan tanto las métricas como los análisis de los indicadores mensualmente y se encuentra que la razón principal es la falta de disponibilidad de vehículos por parte del área de logística.

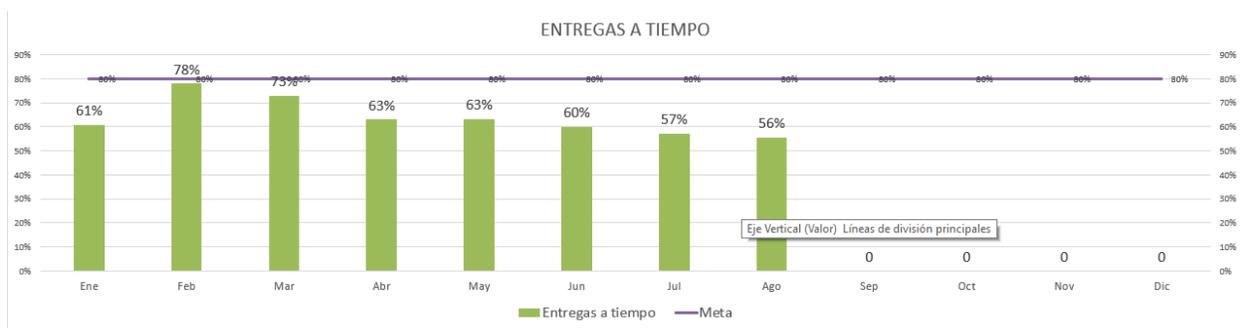


Figura 3. Resultados entregas a tiempo año 2019

Fuente: Sharepoint industria papelera

FILL RATE: El indicador mide el número de líneas entregadas completas (entregas completas/total de pedidos), es decir, mercancía completa y de calidad, sin importar el tiempo de

entrega. La meta para dicho indicador es del 90%. La Figura 4 muestra el desempeño del indicador en lo corrido del año 2019. Se puede notar como el indicador cumple a cabalidad en cada uno de los meses de evaluación, esto teniendo en cuenta que la única condición es que la mercancía llegue completa y sin anomalías sin evaluar fechas de entrega.

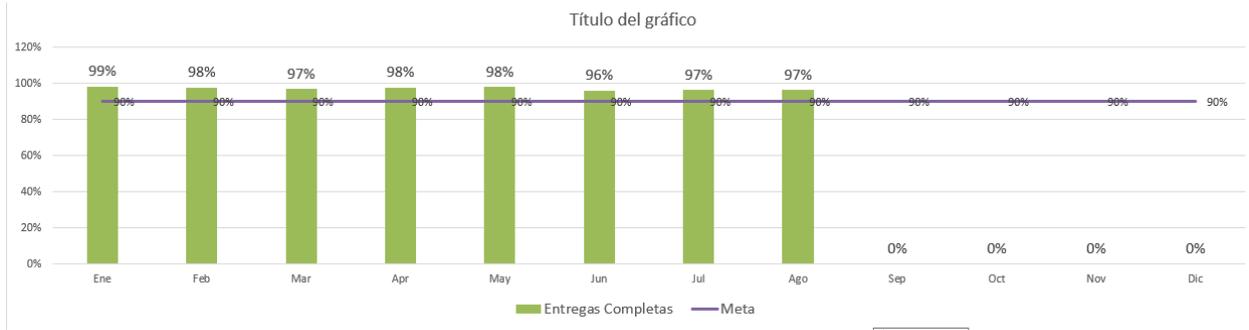


Figura 4. Resultados entregas completas año 2019

Fuente: Sharepoint industria papelera

OTIF: Mide el porcentaje de número de líneas entregadas a tiempo y con cantidades completas (entregas perfectas/total de pedidos). La meta para dicho indicador es del 70%. La Figura 5 muestra el desempeño del indicador en lo corrido del año 2019. Se puede ver como de los ocho meses de análisis el indicador solo logra cumplir en dos de ellos. El área de producción tiene la mercancía lista lo que apunta al ítem de las cantidades completas, sin embargo, se mide también la fecha de entrega y es allí donde entra de nuevo el área de logística justificando el no cumplimiento del indicador con la falta de disponibilidad de vehículos.

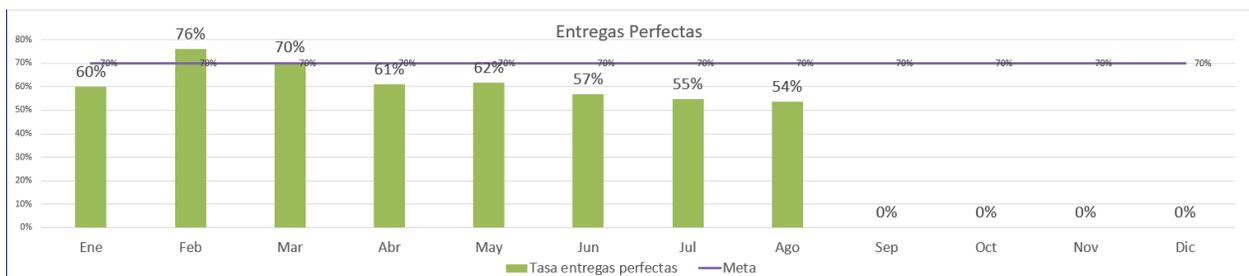


Figura 5. Resultados entregas perfectas año 2019

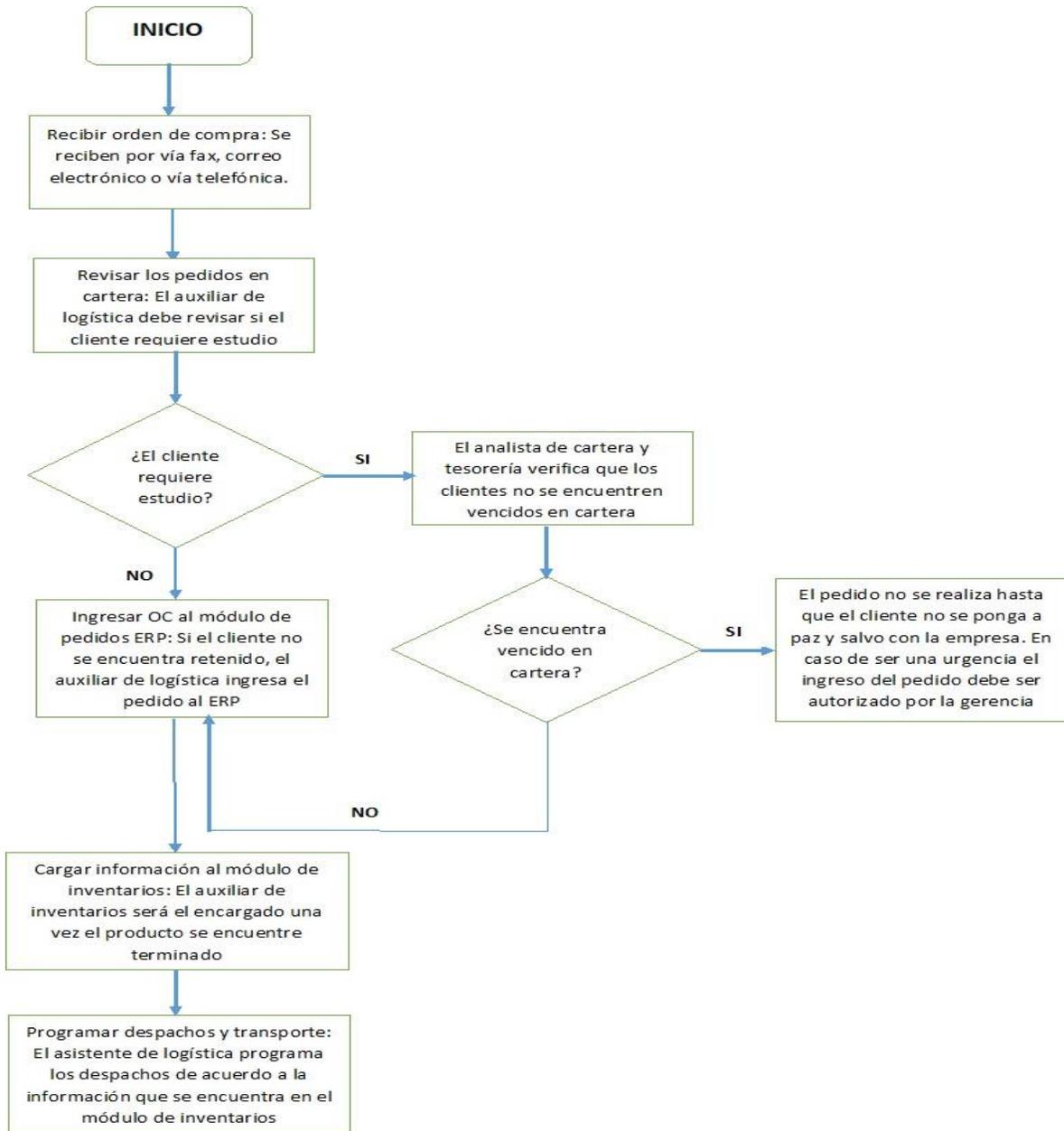
Fuente: Sharepoint industria papelera

El diagnóstico del cumplimiento de indicadores muestra como de los tres, solo uno cumple con la meta (Fill Rate: 98% - meta: 90%), los demás no cumplen con las metas establecidas (On time: 63% - meta: 80%, Otif: 61% - meta: 70%) debido a una razón principal y es la falta de disponibilidad de los vehículos en el área de logística a la hora de realizar los despachos, esto dada

a la ausencia de un método cuantitativo para realizar la programación de los vehículos, tal que permita el eficiente aprovechamiento de los recursos con los que cuenta la empresa actualmente. El problema actual tiene algunos agravantes tales como cantidad de vehículos y personal insuficiente para cubrir la totalidad de las rutas, fechas de entrega que no son tenidas en cuenta, los vehículos no tienen un tiempo de entrega definido por cada ruta y cliente, por el contrario el tiempo lo define cada conductor, el sistema de facturación en ocasiones es deficiente lo que retrasa la generación de facturas y por tanto la salida de los vehículos de la empresa ya que este es requisito esencial para realizar la entrega al cliente. Es por esta razón que se hace necesario una propuesta de mejoramiento al sistema de entregas a los clientes por medio de un ruteo de vehículos que ayude al cumplimiento de los indicadores y a la conservación de los clientes.

La empresa de estudio cuenta aproximadamente con 300 clientes entre compradores de cajas, compradores de single face, papel y láminas, sin embargo, a no todos se les entrega el producto terminado usando los vehículos propios, dado que dichos clientes cuentan con sus vehículos y prefieren recoger ellos mismos el producto en la empresa una vez se encuentre listo para su recogida, sobre todo en el caso de la venta de papel y láminas. Es por esto que la empresa tiene definida una lista de clientes críticos (16 en total), definidos así debido a que éstos representan el mayor volumen de ventas, las rutas con mayor frecuencia de visitas y aquellas que se encuentran a distancias significativas teniendo a Sabaneta, Antioquia como punto de partida. Dichos clientes representan el foco para el desarrollo de este proyecto con el fin de aumentar el valor de los indicadores de las entregas a tiempo (On time) y entregas perfectas (Otif).

La Figura 6 representa el diagrama de flujo con la descripción del proceso desde la recepción del pedido hasta la entrega al cliente.



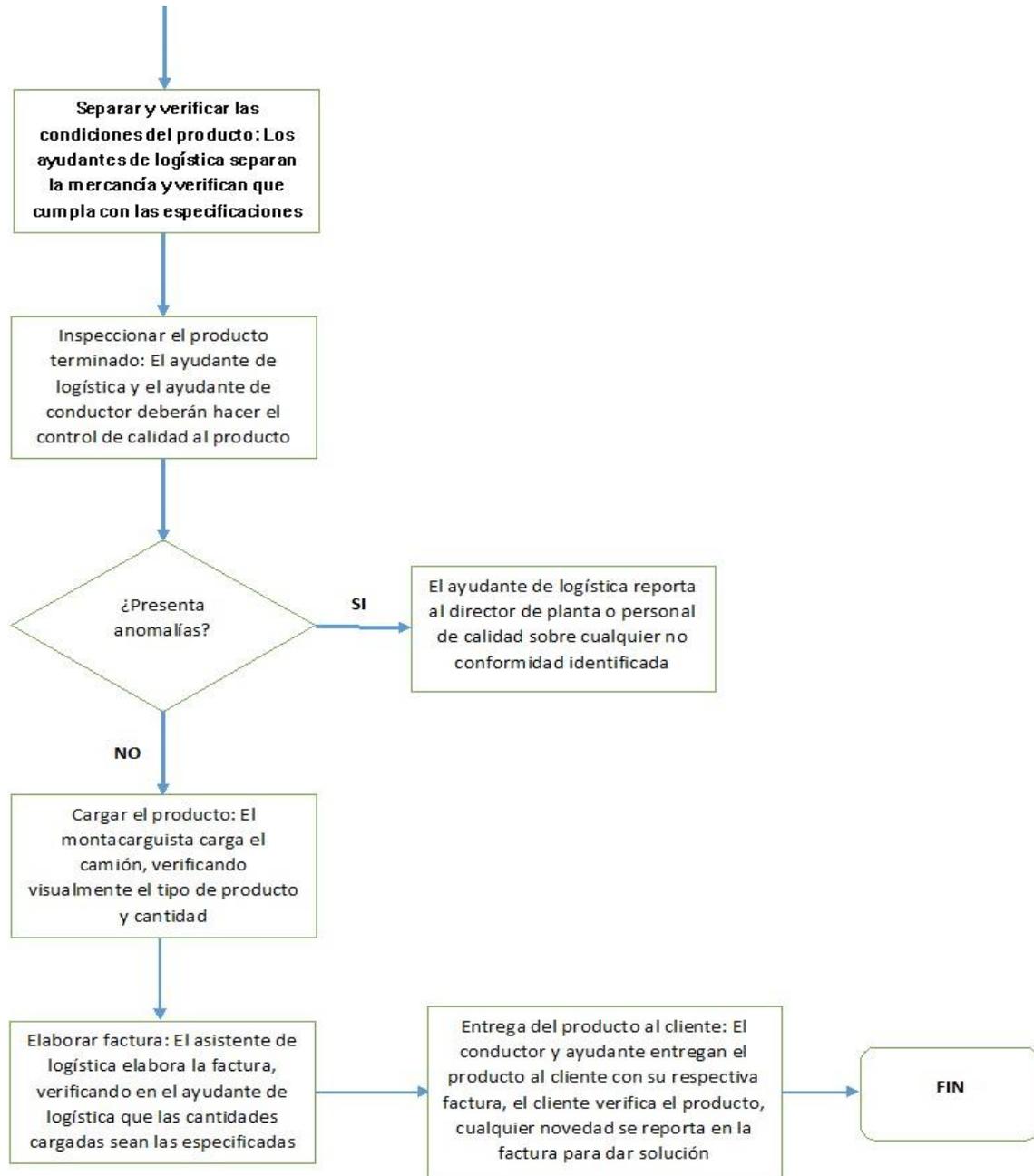


Figura 6. Diagrama de flujo proceso logístico

Las entregas a los clientes es quizá uno de los factores más críticos a medir y evaluar, tanto en empresas manufactureras como de servicios, y dentro del área de logística representa el fin último y más importante dentro de su actividad diaria. Es por esta razón que las industrias deben detenerse un tanto y pensar en ¿qué hacen?, ¿cómo lo hacen?, ¿cuál o cuáles son los objetivos?, ¿lo están cumpliendo?, ¿porque no?, ¿Cómo mejorarlo? Y esta representa la razón principal del porque se

desarrolla este proyecto de investigación. Luego de un análisis de la situación actual de la empresa en cuestión se encontró que de los tres indicadores que el momento se tienen formulados para medir la gestión que se hace para llegar a los clientes con el producto completo y a tiempo, dos no se están cumpliendo, esto se convierte en una gran motivación para hacerse algunas de las preguntas que se formularon al inicio de éste párrafo y analizar si es necesario efectuar un cambio en las operaciones diarias con el fin de mejorar tal situación problemática.

La empresa en estudio es una empresa con gran potencial, posee gran capacidad y capital de trabajo, tiene sus operaciones y procesos definidos y estandarizados, cuenta con un personal idóneo y capacitado capaz de desarrollar sus actividades de manufactura con experticia y calidad, a pesar de todo esto se encuentra con un gran obstáculo que se convierte en el cuello de botella de la operación, las entregas a los clientes. Con el desarrollo de este proyecto se espera obtener una mejora en este ítem, demostrando que el método usado actualmente para programar los vehículos que visitan a los clientes es bueno, pero que se puede estandarizar y mejorar, logrando que los indicadores que en el momento no cumplen, puedan tener un mejor rendimiento y por tanto ofrezcan a la empresa un beneficio mayor. Con la mejora en los indicadores el área de logística puede ofrecerles a los clientes un mejor nivel de servicio, haciendo que aquellos quienes están en urgencia constante a la espera de su producto, puedan sentirse más tranquilos de que su mercancía llegue en la fecha estimada, a tiempo y completa. A su vez el área de logística puede dar un valor agregado no solo a sus clientes sino también a la empresa, sistematizando y mejorando un proceso que por tantos años se ha venido haciendo de la misma forma. Con la implementación de la propuesta se pueden reducir las urgencias en el área y se puede emplear el tiempo que antes usaban en programar los vehículos, en actividades más estratégicas del área.

La problemática a desarrollarse en este proyecto radica en la programación de los despachos y transporte, que como ya se ha mencionado en distintas oportunidades, no se cuenta con una herramienta o modelo cuantitativo tal que permita una programación más eficiente de los despachos y que a pesar de que se realiza con información del “módulo de inventarios”, presenta muchos inconvenientes por los motivos ya descritos anteriormente (poca disponibilidad de vehículos, falta de personal, fechas de entrega omitidas, urgencia de clientes, etc). Se puede notar que el área de logística no cumple con las fechas de entrega que solicita el cliente debido a la floja planificación de los vehículos lo que conlleva a que no se puedan suplir el total de las rutas y por tanto se dejen de entregar pedidos incurriendo en entregas a destiempo, tal como se muestra en la

Figura 2. La situación actual tiende a empeorar debido a un agravante y es la alta rotación del personal y las constantes lesiones tanto de conductores y ayudantes durante las actividades inseguras de trabajo. El factor común a la hora de analizar la causa de las líneas en rojo en el sistema es la poca o nula disponibilidad de vehículos, ya sea por falta de conductores, o por pico y placa, o porque están retardados en la visita a un cliente anterior. Actualmente, el área no se ha preocupado por desarrollar una metodología que les permita tomar decisiones rápidas en caso tal que se presente alguna de las situaciones anteriores, sino que se dedican a “apagar incendios”, respondiendo a las necesidades más urgentes de los clientes.

Con el fin de tener una visión más clara de la problemática a abordar se elabora un diagrama de causa-efecto el cual se muestra en la Figura 7.

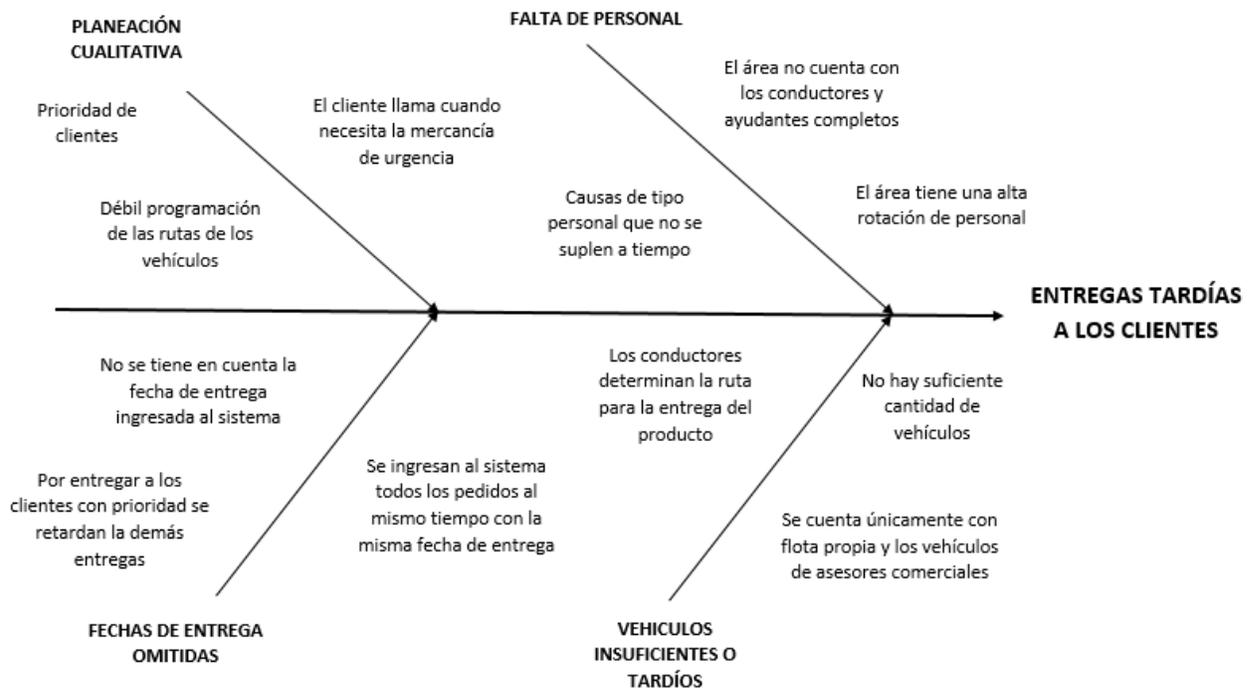


Figura 7. Diagrama causa-efecto de las entregas tardías

Hasta el momento la empresa en estudio no ha implementado otro sistema diferente al ya descrito para la programación de los despachos, la razón principal es la falta de personal idóneo en el cargo tal que permita tener una visión más estratégica de lo que significa la sistematización de la programación de los vehículos y a lo que esto conlleva al final de la cadena de abastecimiento, permitiendo así una mejora en la gestión y el aumento en el nivel de servicio. Con este proyecto se

busca abrir las posibilidades para que desde el área se haga una mejor gestión, se mejoren los indicadores y por supuesto se ayude a la conservación de los clientes actuales.

Para llevar a cabo la realización de la propuesta de mejoramiento al sistema de entregas a los clientes con el que actualmente cuenta la empresa en estudio se analizará el proceso del área de logística desde que inicia con la recepción del pedido hasta la entrega al cliente, para esto se contará con un tiempo estimado de un año, dentro del cual se contempla el diagnóstico de la situación actual, definición de las variables de estudio, análisis de los indicadores y de las métricas de la empresa, disponibilidad de vehículos y personal, rutas de estudio, parámetros, y por último la formulación de la propuesta de mejora y la implementación (si es posible).

Así mismo dentro de la propuesta solo se tendrán en cuenta los vehículos propios de la empresa y los clientes que el área considera como críticos a la hora de hacer la programación de los vehículos, es por esto que se toma un clúster de 16 clientes críticos a los cuales se les evalúan los criterios presentes a la hora de realizar las entregas, esto con el fin de facilitar el estudio, pero que a su vez sea replicable a los demás clientes de la compañía. También se debe tener en cuenta que se debe hacer dentro de una herramienta (software) sencillo y fácil de usar, amigable con los usuarios, esto dada la condición de la empresa y de las personas que allí laboran, debido a que no resulta muy sencillo emplear cambios repentinos en la operación y menos cuando se trata de programas ofimáticos, además dicha herramienta debe cumplir con los criterios de los clientes críticos. Pero, dentro de todo este proceso surge una pregunta clave de investigación, ¿Cuál sería el método adecuado para resolver el problema de las entregas tardías a los clientes, el cual impacte no solo el nivel de servicio, sino que además ayude a mejorar los indicadores actuales de la empresa en cuestión? Para llevar a cabo la solución a la pregunta de investigación se plantea un objetivo principal, el cual radica en la evaluación de una metodología de planificación de rutas y redes de distribución para la industria papelera en estudio, a partir de objetivos específicos que permitan un acercamiento a la logística actual de la empresa y que ayude a definir la solución más óptima y más aterrizada a la realidad de la misma. Como primer objetivo se encuentra diagnosticar las rutas de la empresa y establecer criterios para definir los clientes críticos, esto con el fin de obtener una muestra la cuál permita identificar los criterios de planificación actuales, como segundo objetivo se identifican las variables que sirvan como entrada al modelo de programación de vehículos, las cuales se usan para verificar que la herramienta cumpla con las exigencias que tiene la compañía,

como último objetivo se valida mediante análisis de sensibilidad diferentes escenarios o estrategias y se determina la metodología óptima para la programación de vehículos.

Este documento se divide en 5 secciones, la primera sección comprende los elementos introductorios ya mencionados acerca del tema a desarrollar, en la segunda sección se muestra un contexto literario de lo que ha sido el problema de ruteo de vehículos y las variaciones que se presentan dependiendo del tipo de industria del que se esté tratando, además se hace un barrido general sobre algunos de los estudios realizados al problema de ruteo. En la tercera sección se explica detalladamente cada uno de los pasos que se llevaron a cabo para el diagnóstico general de la empresa, la identificación de las variables de entrada al modelo y la evaluación de la herramienta a usarse de manera que se pueda recomendar una metodología óptima de programación de vehículos. En la cuarta sección se muestran los resultados y las diferentes comparaciones entre las herramientas usadas para las emulaciones con datos reales de la empresa, además se muestra una comparación entre la herramienta que más se ajusta a la dinámica actual de la empresa y los datos de la programación como actualmente la realiza el área de logística. Finalmente, en la quinta sección se presentan las conclusiones más importantes del proyecto y algunas sugerencias para investigaciones futuras.

2. Marco conceptual

Con el fin de poner en contexto al lector es necesario ampliar algunos de los conceptos claves en el desarrollo de esta monografía, de esta manera se busca una mejor comprensión de lo que se quiere exponer y lograr con este proyecto. Primero que todo se debe entender la palabra logística como concepto clave y fundamental dentro del proyecto, esta se puede explicar desde varios puntos de vista, sin embargo, en esta ocasión se va a entender como el conjunto de estrategias que agregan valor a partir de la gestión de los flujos, ligado a esto se encuentra la agregación de valor o valor agregado entendiéndose como la diferenciación de un producto con respecto a otros de su misma línea a partir de características extras añadidas con el fin de aumentar su valor comercial. Como se ha visto durante el desarrollo de esta propuesta se han analizado diferentes factores que ayudan a obtener un diagnóstico de la situación, esto se logra mediante una visión holística de la misma, la cual hace referencia a que todo se debe visualizar en conjunto para entender la realidad, “un sistema completo se comporta de un modo diferente que la suma de cada una de sus partes”, este concepto cobra gran importancia a la hora de evaluar todos aquellos posibles factores que están afectando la situación problema y como se puede intervenir para encontrar posibles soluciones. Como ya se ha

mencionado en repetidas ocasiones, la problemática de la empresa en estudio son las entregas tardías a los clientes debido a una deficiente programación, entendiéndose como el proceso utilizado para idear y ordenar las acciones necesarias para el cumplimiento de un objetivo, en este caso dicho concepto hace referencia a la definición de las rutas que los vehículos del área de logística deben recorrer con el fin de entregar la mercancía a los clientes, debido a que el área no cuenta con un sistema de programación cuantitativo, es decir, no se encuentra basado en números, sino que se hace de forma cualitativa, quiere decir, basado en la observación de comportamientos que surgen de la actividad diaria y que conlleva a formular un procedimiento empírico y aplicarlo en el día a día tal como lo hacen actualmente, afectando considerablemente el nivel de servicio definido como el porcentaje de pedidos que la empresa es capaz de atender dentro de un plazo determinado.

La empresa en estudio cuenta con tres indicadores, aquellos datos que sirven para medir la gestión del área, los cuales fueron analizados anteriormente en este documento y que muestran la necesidad de aumentar su cumplimiento y mejorar el servicio que actualmente presta el área de logística. Dicha área cuenta con las herramientas suficientes para ofrecer un tiempo menor en las entregas a los clientes, tales como inventario de producto, es decir, mercancía disponible en el almacén, un “módulo de inventarios”, archivo programado en Excel el cual permite tener una visión de los pedidos pendientes por entregar, fechas de entrega y días de retraso, además cuenta con un conjunto de rutas críticas, aquellas que son visitadas frecuentemente y que representan distancias significativas tomando como punto de partida la empresa ubicada en Sabaneta, Antioquia, las cuales ayudan a tener una mejor visualización de la situación a la hora de determinar la disponibilidad de los vehículos para la entrega del producto terminado. Dado que la empresa a pesar de tener los recursos necesarios, sigue incurriendo en la misma problemática, se propone entonces en este proyecto realizar una optimización de dichos recursos, entendiéndose optimización como aquel método que permite mejorar las variables de una situación en particular con el fin de obtener el mejor resultado posible, a partir de un ruteo de vehículos (nombre genérico dado a un conjunto de problemas en los cuales se debe atender la demanda de servicio por parte de los clientes ubicados en diferentes puntos geográficos y desde un solo centro de distribución, en este caso) el cual permita tener disponibilidad de los vehículos la mayoría del tiempo, cumplir satisfactoriamente con las entregas a los clientes, mejorar el cumplimiento de los indicadores ya

estudiados y como fin último a la conservación y fidelización de los clientes de la empresa en estudio.

2.1 . Marco teórico

El sector transporte representa un papel muy significativo en el fortalecimiento de los procesos de globalización y competitividad de un país. El establecimiento de rutas y horarios para los vehículos constituye un conjunto de problemas del día a día que, si no se resuelven de manera adecuada, traen consigo un deterioro importante en las utilidades de las empresas, además de la repercusión directa que tiene el incumplimiento en las entregas a los clientes en cuanto a las negociaciones con los mismos. Lo anterior se ha convertido en foco de estudio de múltiples autores desde hace ya varios años, es por esta razón que se han planteado diferentes métodos que permitan optimizar los sistemas de programación de vehículos ayudando así a la competitividad de las empresas especialmente a aquellas dedicadas al transporte de carga. Dentro de la literatura se encontró que el problema de ruteo de vehículos y sus variantes surgen de manera protagónica en áreas de la logística y el transporte de bienes. Ya es sabido que para ciertos productos su costo depende en gran medida de la forma en que este se mueve a través del canal de producción y distribución. La optimización de la ruta logística puede disminuir sensiblemente el costo del producto, además de proveer valores agregados intangibles como la satisfacción del cliente y lealtad de la marca debido a entregas a tiempo y costos razonables [3].

En el año 2016 se realizó un proyecto donde se abordó un problema de ruteo de vehículos, en el cual se trató de diseñar rutas óptimas para vehículos de carga que deben realizar entregas de mercancía desde múltiples centros de distribución localizados geográficamente a nivel nacional. Para la resolución de dicho problema se aplicaron diferentes procedimientos basados en los principios de la programación matemática y procesos heurísticos y metaheurísticos, con el fin de obtener el modelo que responda a las necesidades planteadas en problemas complejos con gran número de parámetros y variables, como es el caso del ruteo de vehículos. La metodología utilizada fue denominada Grasp Clustering & Tabu Routing, en la cual se desarrolla un procedimiento de dos fases, clusterizar primero, rutear después. Para llevar a cabo dicho proceso, se planteó primero la fase de asignación de los clientes a los depósitos a partir de la meta heurística GRASP y en una segunda fase, se generan las rutas para cada clúster a partir de la meta heurística Búsqueda Tabú [4].

En el año 2014 se realizó un trabajo en el cual se buscó desarrollar un modelamiento matemático para el ruteo de vehículos en las empresas Laboratorios Veterland, Laboratorios Callbest y Cosméticos París (quienes realizan la distribución de sus productos de manera conjunta), con el fin de hacer más eficiente el proceso de distribución de las empresas mencionadas. En dicho caso se trató un problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo. El problema consistía en la generación óptima de rutas para los vehículos que deben abastecer a todo un conjunto de clientes, teniendo en cuenta que cada cliente tiene una franja horaria de entrega [5].

En 2013 se realizó un trabajo de grado muy similar al que se pretende desarrollar en esta monografía, con la diferencia que se tocó el tema de la gestión de inventarios. El desarrollo de dicho proyecto tuvo como objetivo principal brindar parámetros para mejorar las operaciones de la comercializadora JG ARTIPAN generando estrategias cuantitativas y cualitativas para la optimización de los procesos, a través de la planeación y programación de rutas y la adecuada gestión de los inventarios. A partir de la información suministrada por la compañía, se validó la red de transporte actual y posteriormente se planteó una nueva programación de rutas [6].

En la actualidad se cuentan con varias metodologías para abordar temas de análisis y de optimización en programación de rutas de distribución centradas en el transporte urbano las metodologías más conocidas son TSP (Traveling salesman problem), CPP (Chinese postman problem) y finalmente el VRP (Vehicle routing problem) [7].

El tema de VRP es un problema de distribución que se enfoca en minimizar costos de transporte a través del diseño de rutas que permitan abastecer un conjunto de clientes geográficamente dispersos desde un depósito central, también se aborda teniendo en cuenta la variación de ventanas de tiempo las cuales pueden ser duras, es decir que no permiten tener tiempos de retraso y las fechas de entrega no son flexibles, y las ventanas blandas en las cuales un modelo puede incurrir en retrasos y tiempos de espera siendo castigados con una penalidad en la función objetivo, estas dos modalidades de ventana de tiempo se denominan “Time Windows” quedando la sigla conformada como VRPTW [8]. Dichas ventanas de tiempo nos permiten ajustar el modelo a la situación actual de la empresa de estudio, la cual viene presentando problemas con las fechas de entrega y retrasos por diferentes variables ya mencionadas durante el desarrollo del texto.

3. Metodología

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos específicos propuestos se define y se describe la metodología para llevar a cabo el desarrollo del proyecto. Para lograr este primer objetivo, el cual hace referencia al diagnóstico de las rutas de la empresa y establecer criterios para definir los clientes críticos, fue necesario como primer paso recopilar toda la información necesaria concerniente al área de logística de la empresa en estudio, tal como rutas más visitadas, distancias, tiempos estimados de recorrido, número de vehículos, personal disponible, horarios de recibo de mercancía, entre otros. Inicialmente en la primera fase se hizo un diagnóstico de las rutas que actualmente cubre la empresa y se identificaron aquellos clientes críticos teniendo en cuenta que son aquellos que tienen un mayor volumen de ventas, tienen mayor frecuencia de visitas y aquellos que representan las distancias más significativas, dicho clúster sirvió como punto clave para la evaluación de la herramienta gracias a que a partir de estos se pudieron identificar las consideraciones y requerimientos que tiene al momento de realizar las entregas y por tanto se pudo replicar al total de clientes de la compañía. También se realizó un diagnóstico del cómo se está haciendo la programación de los vehículos por parte del área de logística en la actualidad, para esto se realizaron reuniones a partir del día 9 de enero y hasta el 29 de enero con los encargados del proceso de despacho y programación de las rutas, durante las reuniones se establecieron las entregas pendientes, teniendo en cuenta que éstas podían ser prioridades por parte del área de producción, atrasadas y/o hasta la fecha de entrega a evaluar, incluso si producción tenía la mercancía en inventario se podían incluir entregas con fechas de hasta dos días adelantadas, además se definieron las rutas usadas para las entregas, aquí se identificaron aquellas que son recorridas con mayor frecuencia y las más extensas, se usaron los “ruterros”, que son documentos en los que se lleva el control de los clientes visitados, los vehículos usados y el tiempo que demoran durante el recorrido y en hacer las entregas en el lugar de destino, se evaluaron aquellos criterios que, por experticia, usan a diario los encargados del despacho para realizar los cargues y los tipos de vehículos según cada cliente y según las cantidades pedidas y disponibles en inventario, se identificaron las rutas que son prioridad, es decir, las que se recorren con mayor frecuencia y las que presentan mayores inconvenientes (movilidad, distancia, tiempo de recorrido, etc.) a la hora de hacer las entregas, se revisaron y se dibujaron algunas de las rutas programadas por el personal de despacho. Los datos encontrados en los ruterros fueron digitalizados en tablas de Excel, dicho ejercicio ayudó a revisar, entre otros datos importantes, la cantidad de vehículos usados en cada

día de programación, el tiempo de servicio por cliente, el tiempo total del descargue y el tiempo total de la ruta. Además, se obtuvo información de las cantidades y el tipo de referencias que fueron facturados y despachados en las fechas evaluadas, las cuales son reconocidas dentro del área de logística como “líneas” y son recopiladas en una lista de cargue. En la Figura 8 se muestran los datos de la programación del día 23 de enero, allí se puede identificar datos tales como las placas de los vehículos usados, el cliente a quien fue entregado el producto, la hora de llegada del vehículo donde el cliente, la hora de recibo de la mercancía, la hora de salida del vehículo del lugar de la entrega, el tiempo total que permanece el vehículo donde el cliente, la hora de salida del vehículo del CEDI de Sabaneta, la hora de llegada al CEDI, el tiempo total de la ruta y el tiempo del descargue de la mercancía.

VEHÍCULO	CLIENTE	HORA DE LLEGADA	HORA DE RECIBO	HORA DE SALIDA	TIEMPO TOTAL LUGAR DE ENTREGA	HORA SALIDA SABANETA	HORA DE LLEGADA A SABANETA	TIEMPO TOTAL DE LA RUTA	TIEMPO DE DESCARGUE
FWB 962	Pinturas Idea	8:10	8:15	8:30	0:20	7:30	15:20	7:50	0:15
	Idea Poblado	9:30	9:50	10:00	0:30				0:10
	Pinturas Industriales	10:25	10:35	10:50	0:25				0:15
	Fabio Quintero	11:30	11:35	11:55	0:25				0:20
	Cadena	14:10	14:30	14:50	0:40				0:20
FBN 313*	Cartan	6:25	7:00	9:10	2:45	6:15	9:20	3:05	2:10
	Cartan	11:33	11:35	11:49	0:16	9:20	14:30	5:10	0:14
	Gamma	12:01	12:10	12:32	0:31				0:22
	Firplack	12:50	13:20	14:00	1:10				0:40
FGW 203	Cajas Print	10:50	12:00	13:00	2:10	10:20	14:20	4:00	1:00
	Línea Directa	13:15	13:30	14:00	0:45				0:30
FGI 738	Industrias Estra	9:55	10:03	10:20	0:25	9:25	16:03	6:38	0:17
	Induempagues	11:10	11:45	14:58	3:48				3:13
FQA 641	CDI	11:20	11:40	12:10	0:50	10:00	17:50	7:50	0:30
	Indugevi S.A.	12:50	13:00	14:30	1:40				1:30
	Karga Fase 2	15:20	15:22	15:30	0:10				0:08
	Coalica S.A.S	15:32	15:35	15:45	0:13				0:10
MFX 830	Abrasivos de Colombia	10:30	10:45	11:30	1:00	9:20	14:30	5:10	0:45
	Drinks de Colombia	11:30	12:45	14:10	2:40				1:25
FHA 535	Colcerámica La Estrella	10:50	13:15	13:30	2:40	10:30	17:30	7:00	0:15
	Carpas Lufer	14:30	15:10	15:30	1:00				0:20

Figura 8. Programación del 23 de enero

Dentro de la segunda fase, la cual apunta al cumplimiento del segundo objetivo específico, el cual consiste en la identificación de las variables que sirvan como entrada al modelo de programación de vehículos, se conocieron cada uno de los criterios que usan los despachadores del área al momento de realizar la programación y el cargue de los vehículos. El encargado del proceso de despacho mencionó los siguientes criterios de decisión: capacidad del vehículo, tipo de producto, cubicaje del vehículo, distancia hasta donde el cliente, producto disponible en inventario, clientes sobre la misma ruta, disponibilidad de vehículos, cantidades pedidas, horario de recibo de la mercancía, disponibilidad del personal, vehículos con llegada al CD después de las 3 pm son cargados para despachar al día siguiente. Además de esto fue necesario conocer las restricciones que presentan los clientes a la hora del recibo de la mercancía, dicha actividad se realizó con la

ayuda de los conductores y ayudantes de conductor de la empresa quienes conocen el proceso de entrega y descargue de la mercancía en el destino, se entrevistaron varios conductores y ayudantes los cuáles mencionaron algunas condiciones que se presentan a la hora de realizar las entregas, se citaron algunas condiciones tales como: clientes que asignan cita para recibir su mercancía, clientes con una franja horaria (recibos hasta las 4 pm), clientes con entrega única, es decir, se usa un vehículo solo para sus entregas (Rionegro-zona franca), clientes a los que se les pueden hacer entregas parciales, clientes que exigen procesos adicionales a la hora de las entregas (certificados, productos adicionales, etc), clientes que exigen que la mercancía sea ubicada en estanterías, dichas condiciones fueron identificadas en el grupo de los clientes críticos (16 en total) pero que son replicables al resto de clientes de la empresa. Luego de llevar a cabo todo lo anterior se definieron tanto variables internas como variables externas, las cuales representan el conjunto de variables críticas y de entrada al modelo. Dentro de las variables internas se encuentran ubicación actual de la empresa, horario y días de servicio, cantidad de vehículos propios, restricción de turnos u horas extras, capacidad de los vehículos. Dentro de las variables externas están la ubicación del cliente (distancia), días de servicio del cliente, clientes con asignación de citas, clientes con franja horaria, clientes con entrega única, clientes con entregas parciales urgentes, tiempo de recibo, tiempo de descargue, ubicación final de la mercancía, revisión de la mercancía, dichas variables se deben tener en cuenta para la siguiente etapa del proyecto.

Para finalizar se describe la tercera y última fase de la metodología la cual apunta al cumplimiento del tercer objetivo, el cual consiste en una validación mediante análisis de sensibilidad diferentes escenarios o estrategias y se determina la metodología óptima para la programación de vehículos. Una vez se tuvieron claras las variables de entrada se realizó una búsqueda general en internet de las alternativas existentes en el mercado para rutear vehículos. En la Tabla 1 se muestra la lista con los softwares encontrados y los que serán evaluados dentro de este estudio.

Tabla 1. Softwares evaluados

Nombre del software	Descripción
Beetrack	Proveedor de software, permite optimización de rutas, control de vehículos en tiempo real y trazabilidad de entregas.
Persat	Brinda servicio de monitoreo y seguimiento satelital, control de flotas de transporte, ordenes de trabajo y control de empleados.

Geoconcept	Planificación de rutas que cubre todas las necesidades de las empresas que gestionan equipos móviles y flotas de vehículos.
SimpliRoute	Optimización de rutas de reparto, visitas a clientes, servicios técnicos y otras operaciones en terreno.

Una vez se identificaron las herramientas a evaluar se realizaron los registros correspondientes en internet (formularios) para conocer con mayor detalle cada una de ellas. Por correo electrónico se recibieron las respuestas de los asesores comerciales y se pactaron reuniones y capacitaciones. Se lograron evaluar todas los softwares listados en la Tabla 1, de algunos de ellos se pudo obtener demos por lo que durante varios días se realizaron las emulaciones con los datos ya recolectados de la empresa en estudio, solo uno de ellos se tuvo que hacer con la asistencia del asesor comercial en donde se pudo emular solo uno de los escenarios en evaluación y se obtuvo poca información. Cabe mencionar que para el desarrollo de este trabajo se usó el término emulación dado que lo que se buscó fue replicar una situación existente bajo los mismos parámetros para evaluar un resultado. Es importante para este tipo de problema porque cuando se realiza la emulación buscamos que todos los elementos constantes tales como el número de líneas a entregar, los clientes, tipos de productos y las cantidades totales se mantengan y se busca que el resultado de la emulación mejore variables tales como el número de vehículos, tiempo de ruta promedio, distancia recorrida y capacidades utilizadas. De esta manera se lograron hacer las respectivas comparaciones de las herramientas que fueron probadas, para dichas pruebas fue necesario tener en cuenta varios criterios, lo primero es que el software cumpliera con los requerimientos mínimos que se buscaban y que se acoplara a la realidad de la empresa en estudio, estos hacen referencia a los tiempos de descanso, tiempos de espera donde clientes, seguimiento del vehículo en ruta, cumplimiento de citas, optimización infinita, recargas en el depósito, prioridad de los clientes, entre otros que hacen parte del plus que la herramienta podía ofrecer tal como optimización de los costos de operación, planeación independiente de conductor y vehículo. Una vez se realizó este comparativo se escoge el software que cumplió al menos con el 80% de los requerimientos y se descartaron los demás, esto con el fin de ir depurando las herramientas y no incurrir en cálculos innecesarios. Una vez se tuvieron depuradas las herramientas se realizó el comparativo en tres escenarios distintos con las variables de entrada más críticas, entre ellas se encuentran distancias totales recorridas, tiempo promedio en ruta, cantidad de vehículos usados, capacidad utilizada, teniendo en cuenta que cada

uno de los softwares debía por lo menos garantizar la función objetivo y las restricciones a las que esta estuviera sujeta, para este caso de estudio se buscaba minimizar el número de vehículos usados, de forma que se cumpliera con el 100% de la demanda, que se atendieran los clientes a tiempo, teniendo en cuenta que había una cantidad de camiones establecida con la que cuenta la empresa y que las entregas se deben hacer dentro de los horarios laborales. Luego de tener dicho comparativo se escogió el software con los mejores resultados, lo que representaba la mejor solución, y se realizó el paralelo con los datos recolectados de la empresa, esto con el fin de revisar si efectivamente había una mejora tanto en tiempos, vehículos usados, distancias recorridas, etc. Con dicha información se determinó la herramienta que más se ajustó a la empresa en estudio y a su vez se obtuvo la metodología más óptima para la programación de los vehículos. Con esto se da por finalizado el cumplimiento de los objetivos inicialmente planteados. En la siguiente sección se muestran los resultados obtenidos.

4. Resultados y discusión

Tal como se describió en la sección de metodología se evaluaron las herramientas encontradas para la optimización del ruteo de vehículos, teniendo en cuenta cada uno de los criterios necesarios a la hora de pensar en usar un software como la metodología adecuada para la programación de los vehículos de la empresa en estudio. A continuación, se muestra la Tabla 2 con los requerimientos evaluados en cada uno de los softwares y los resultados obtenidos.

Tabla 2. Evaluación de requerimientos

Requerimientos empresa	Beetrack	Persat	Geoconcept	SimpliRoute
Tiempos de descanso	x		x	
Tiempos de espera	x		x	
Seguimiento en ruta	x	x	x	x
Cumplimiento de citas	x	x	x	x
Optimización infinita	x	x	x	x
Recargas en el CEDI			x	
Prioridad de clientes	x	x	x	x
Planear independiente conductor y vehículo	x	x	x	x
Costos de la operación	x	x	x	
Cantidad de atributos	8	6	9	5
Atributos evaluados	9	9	9	9
% de ajuste SF a la empresa	89%	67%	100%	56%

Se evaluaron cada uno de los requerimientos para cada herramienta, señalando con una x aquellos que cumplían, en total fueron nueve atributos correspondientes a la realidad que actualmente vive la empresa en estudio. Se realiza el ajuste y se puede observar que de los cuatro softwares evaluados solo dos de ellos cumplieron con más del 80% de los requerimientos, dichas herramientas continuaron en el estudio (Beetrack 89% y Geoconcept 100%) y las demás se descartaron por obtener rendimientos menores a los esperados (Persat 67% y SimpliRoute 56%). Teniendo en cuenta los tres indicadores que manejan en el área de logística se determinó que la función objetivo sería minimizar los vehículos usados, esto con el fin de que el software mostrara que las líneas programadas para entregar en las fechas seleccionadas se podía hacer de manera más eficiente con menos vehículos en ruta, esto a su vez permitió identificar que si el software podía minimizar el número de vehículos usados, entonces se tendrían más vehículos disponibles para programar un número mayor de entregas a los clientes. En este orden de ideas el Fill Rate, el On Time y Otif tendrían un aumento significativo tal como se esperaba. En la Tabla 3 se muestra la función objetivo adscrita al problema en cuestión y las restricciones sujetas a esta.

Tabla 3. FO y restricciones

Función objetivo	Minimizar número de vehículos usados
Restricciones	Atender el 100% de la demanda (Completo)
	Atender en el tiempo (A tiempo)
	Horarios laborales
	Restricción de vehículos

Se evaluaron las variables de entrada en los softwares seleccionados en tres escenarios distintos, es decir, se emularon tres fechas distintas de programación realizadas por la empresa en estudio, sujetas a las restricciones anteriores y se llevó a cabo la comparación de los resultados. En la Tabla 4 se observan los resultados consolidados para Beetrack y Geoconcept.

Tabla 4. Resultados consolidados Beetrack y Geoconcept

Escenarios	Resultados globales	
	Beetrack	Geoconcept
Variables de la FO		
Número de vehículos usados (und)	14	16
Distancia total (Km)	955,77	708
Capacidades utilizadas (% peso)	82,15	82,17
Tiempo promedio en ruta (h)	19,45	21,81

Al realizar las emulaciones en los diferentes softwares se garantizó que las entregas se hicieran efectivas cumpliendo las restricciones que se tienen dentro del proceso, entre éstas una cantidad limitada de vehículos (9 camiones), un número de pedidos que debían entregarse en su totalidad, unas ventanas horarias establecidas por los clientes (7am a 4 pm) y un horario laboral del área de logística (6 am a 5 pm) en donde no se incurriera en horas extras, efectivamente las herramientas cumplieron con lo anteriormente descrito. Se puede observar en la Tabla 4 que los resultados estuvieron muy parejos en cuanto a vehículos usados y capacidades utilizadas. Con respecto a las distancias totales tuvo un mejor rendimiento Geoconcept con distancias menores a las recorridas en relación a Beetrack, en cuanto a los tiempos promedio en ruta se puede ver como Geoconcept obtuvo un tiempo mayor con respecto a Beetrack, sin embargo Geoconcept, a diferencia de Beetrack, tuvo en cuenta el tiempo de recargas en el centro de distribución, requerimiento que hizo la diferencia en los resultados de los dos softwares y lo que se considera un factor decisivo para la empresa a la hora de realizar el ruteo de los vehículos, por ésta razón y por los resultados obtenidos en la evaluación anterior, se escogió a Geoconcept como la herramienta que más se ajusta a la empresa y la alternativa más óptima de solución para la programación de los vehículos. Una vez escogido Geoconcept como la alternativa de solución se compararon sus resultados con los datos reales de la programación que elaboró la empresa en los tres escenarios distintos, dichos comparativos se muestran en la Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 4. Comparativo primer escenario

Escenarios	Primer escenario		
	Geoconcept	Empresa	Comparación
Número de vehículos usados (und)	4	7	-42,9%
Distancia total (Km)	155	358,29	-56,7%
Capacidades utilizadas (% peso)	72,4	57,3	26,4%
Tiempo promedio en ruta (h)	7,5	6,57	14,2%

Tabla 5. Comparativo segundo escenario

Escenarios	Segundo escenario		
	Geoconcept	Empresa	Comparación
Número de vehículos usados (und)	7	8	-12,5%
Distancia total (Km)	281	508,52	-44,7%
Capacidades utilizadas (% peso)	91,7	90,2	1,7%
Tiempo promedio en ruta (h)	6,71	6,25	7,4%

Tabla 6. Comparativo tercer escenario

Escenarios	Tercer escenario			
	Comparación	Geoconcept	Empresa	Comparación
Número de vehículos usados (und)		5	6	-16,7%
Distancia total (Km)		272	442,03	-38,5%
Capacidades utilizadas (% peso)		82,4	76,35	7,9%
Tiempo promedio en ruta (h)		7,6	6,83	11,3%

Se observa en las tablas anteriores que se redujo el número de los vehículos en los tres escenarios evaluados en 42,9%, 12,5% y 16,7%, respectivamente, esto permitió identificar que durante estas tres fechas era posible realizar el total de entregas con menos vehículos en ruta, por tanto, se modificaba la disponibilidad de los vehículos y se podía hacer un mayor número de entregas. La distancia total recorrida también se redujo notablemente en cada una de las fechas evaluadas. Las capacidades utilizadas aumentaron con respecto a las programadas por la empresa, esto quiere decir que con el uso del software se puede tener un mejor aprovechamiento de los camiones con los que cuenta la empresa. En cuanto al tiempo promedio en la ruta se puede ver que la empresa lo pudo distribuir un poco mejor gracias a la experticia con la que cuenta el equipo de conductores de la empresa y que talvez el software no considera por ser una herramienta que funciona bajo programas de geoposicionamiento, además al usar más camiones para entregar los mismos pedidos, el tiempo promedio en la ruta disminuye. Sin embargo, gracias a la programación con el uso del software se pueden obtener múltiples beneficios.

De manera global se hace la comparación de nuevo entre el software y la programación cualitativa hecha por la empresa en estudio. En la Tabla 7 se muestran los resultados consolidados de Geoconcept Vs la empresa en estudio.

Tabla 7. Resultados globales

Comparación	Resultados globales			
	Variables de la FO	Geoconcept	Empresa	Comparación
Número de vehículos usados (und)		16	21	-23,8%
Distancia total (Km)		708	1308,84	-45,9%
Capacidades utilizadas (% peso)		82,17	74,62	10,1%
Tiempo promedio en ruta (h)		21,81	19,65	11,0%

Los resultados totales evidencian una disminución importante en la función objetivo la cual hace referencia a la minimización de los vehículos usados con 23,8% menos de vehículos con respecto a la programación que para dichos días hizo la empresa. En distancias recorridas también se obtuvo una reducción significativa lo que apunta a una mejora visible en los costos de transporte de la empresa en estudio. En cuanto a las capacidades de los vehículos que se usaron se puede ver que con el uso de Geoconcept se nota un aumento del 10,1%, lo que significa que se pueden aprovechar mejor los recursos con los que la empresa cuenta actualmente. Del total de variables evaluadas la única en donde se mostró un resultado positivo por parte de la empresa fue en el tiempo promedio del vehículo en la ruta, esto pudo deberse a que gracias a la experiencia y el conocimiento de los conductores y al tráfico presente en las vías en dichas fechas, las rutas fueron recorridas un 11% menos con respecto al tiempo que usó el software, además al usar una mayor cantidad de vehículos para entregar el mismo número de pedidos, claramente se reduce el tiempo en la ruta por cada camión, esto a su vez implica que los costos variables aumenten. Sin embargo, con el uso del software se pueden obtener unos beneficios traducidos en aumento en los indicadores de Fill Rate, On time y Otif, mejor aprovechamiento de los recursos y activos fijos de la empresa, menores costos de operación y mejor rendimiento en la operatividad del área de logística.

Se hizo además una evaluación de los costos de operación para el total de los escenarios evaluados. A continuación, se muestra la Tabla 8 con los porcentajes equivalentes a costos fijos y variables que actualmente mide el área de logística de la empresa en estudio.

Tabla 8. Costos fijos y variables

Costos totales de operación	\$ 126.371.000
Costo fijo	49%
Costo variable	51%

Se puede observar los porcentajes equivalentes tanto a los costos fijos como los costos variables de la empresa en estudio, se evidencia que los costos variables representan el 51% de los costos totales de transporte. Teniendo los datos anteriores se calcula el ahorro en kilómetros recorridos. En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 9. Ahorros en operación

Distancia total (Km)	-45,9%
Costo variable	51%
Ahorro	-24%

Efectivamente una de las variables de entrada en la cual se puede obtener un ahorro significativo durante la operación es la distancia total recorrida en kilómetros. Es claro que para dicha variable de entrada se asocian costos variables tales como el combustible, mantenimiento, peajes, viáticos, teniendo en cuenta el resultado arrojado usando la herramienta, en donde se observa una disminución del 45,9%, se calcula el ahorro que se obtiene multiplicándolo por el porcentaje del costo variable. Se evidencia efectivamente en la Tabla 9 que usando Geoconcept como herramienta de ruteo y programación de vehículos se puede obtener un ahorro del 24% en los costos por distancia total recorrida en kilómetros.

5. Conclusiones

En este trabajo se llevaron a cabo una serie de actividades que permitieron evaluar críticamente la manera como la empresa involucrada realiza la gestión del transporte para hacer las entregas a los clientes. Gracias al diagnóstico realizado inicialmente se pudo evidenciar que el área de logística contempla tres indicadores de los cuáles dos de ellos necesitan revisarse y mejorarse, y fueron precisamente éstos los que le dieron razón de ser a este estudio. También se pudieron identificar cuáles eran los aspectos críticos dentro de la logística que realiza la empresa actualmente, tales como los criterios de decisión de los encargados a la hora de realizar la programación de los vehículos y los clientes críticos, quienes representaron el clúster para la evaluación de los parámetros y variables de la metodología evaluada. Gracias a la identificación de las variables de entrada se pudo aterrizar de manera efectiva las emulaciones en los diferentes softwares, permitiendo así revisar los diferentes aspectos que eran determinantes al momento de proponer una herramienta que permitiera una nueva forma de hacer el ruteo de los vehículos a la empresa en cuestión. Del proceso de evaluación de los softwares se puede concluir que era necesario revisar de forma minuciosa cada uno de los requerimientos con los que debía cumplir dicho software para que se ajustara a la realidad de la empresa y fue así como se escogió aquel que cumplió con la mayoría de estos y el que arrojó los mejores resultados en comparación con los datos de la empresa.

Se puede concluir que los resultados arrojados por el software son más óptimos que los datos que se tenían en las programaciones hechas en la empresa y que con el uso de un instrumento para el ruteo de vehículos se pueden obtener mejoras en la operación, influyendo principalmente en los indicadores de entregas a tiempo, entregas completas y entregas perfectas, además se puede lograr una reducción significativa en los costos de transporte.

Como trabajo futuro se propone una implementación de Geoconcept en la operación logística diaria de la empresa, de tal manera que se pueda observar el funcionamiento del software en tiempo real y efectivamente permita una optimización en las variables evaluadas y por tanto una mejora en los indicadores del área.

6. Referencias

- [1] Portafolio, «Feria Andina Pack les sube el estrato a empaques y envases,» *Portafolio*, 2017.
- [2] C. R. Muñoz, «La industria de empaques "made in Colombia",» *Revista de logística Supply Chain-industria*, pp. 58-62, 2016.
- [3] Brain Trust Consulting Services , «Técnicas para la Optimización de Rutas de Transporte y Distribución,» *Brain Trust Consulting Services* , vol. 2, pp. 10-11, 2009.
- [4] Y. A. H. Ortiz, «Diseño de un sistema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos en empresas de transporte de carga por carretera,» Bogotá, D.C., 2016.
- [5] A. F. M. Carrillo, «Modelo de ruteo de vehículos para la distribución de las empresas Laboratorios Veterland, Laboratorios CallBest y Cosméticos Marliou Paris,» Bogotá, D.C., 2014.
- [6] M. G. R. Lilian Johana González Alzate, «Planeación, programación de rutas y gestión de inventarios para la comercializadora JG Artipan,» Bogotá, D.C., 2013.
- [7] E. A. Bermeo Muñoz y J. H. Calderón Sotero, «Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte,» *El Hombre y la Máquina*, pp. 52-67, 2009.
- [8] W. J. G. R. Eliseo Pérez Kaligari, «Métodos de optimización para el problema de ruteo de vehículos con inventarios y ventanas de tiempo duras,» *Revista Ingeniería Industrial*, pp. 31-49, 2015.

7. Apéndices

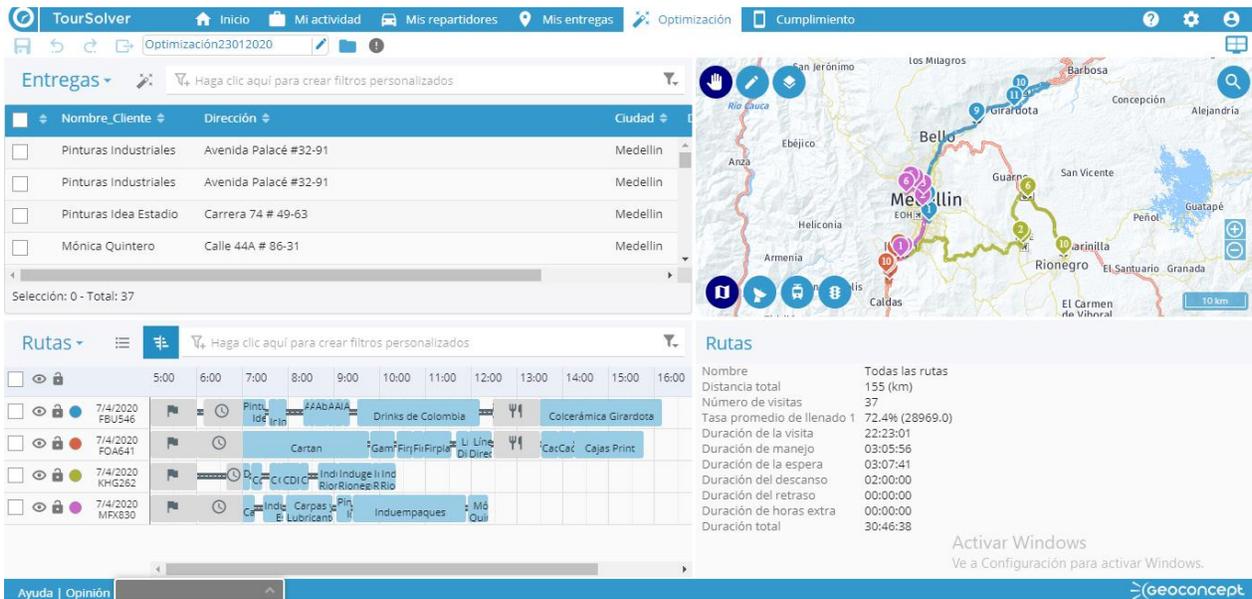


Figura 9. Datos generales Geoconcept Emulación 23 de enero

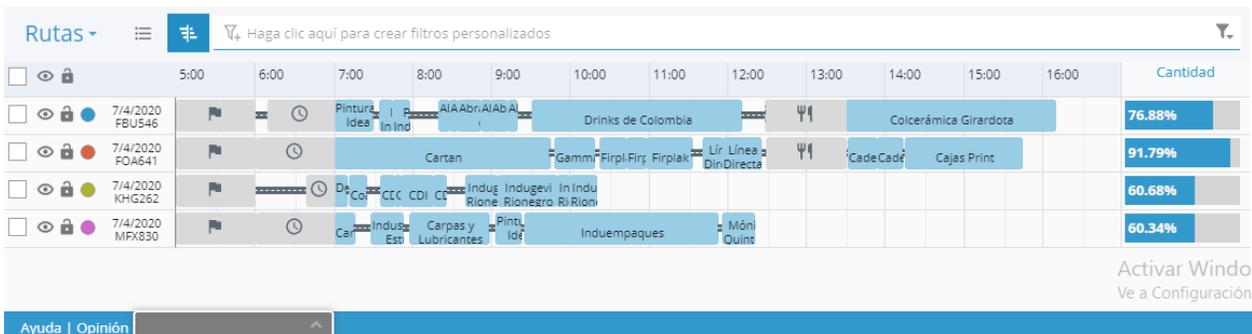


Figura 10. Diagrama de Gant Geoconcept

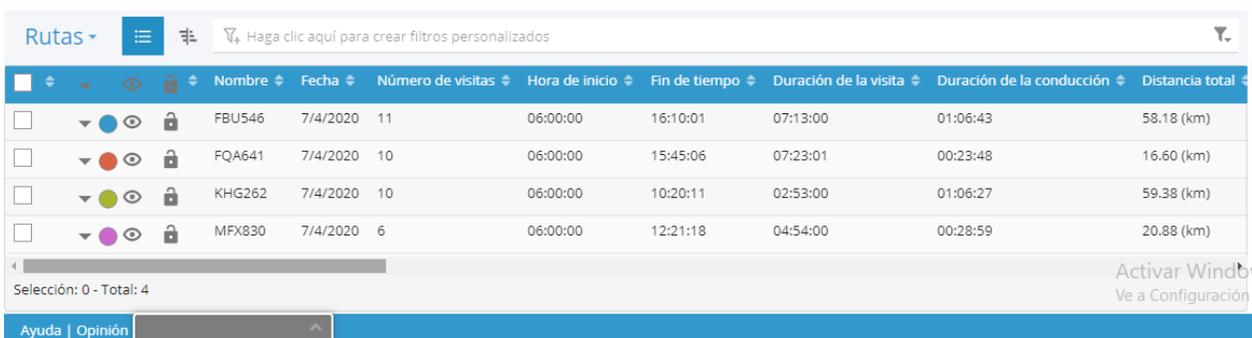


Figura 11. Datos por ruta Geoconcept

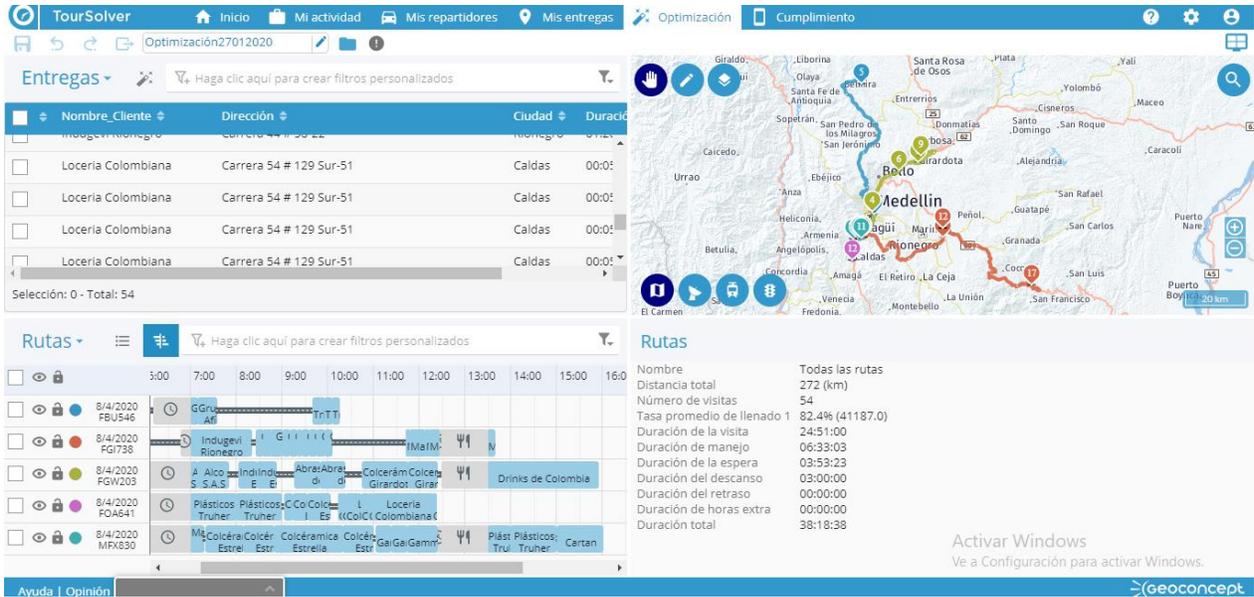


Figura 15. Datos generales Geoconcept Emulación 27 de enero

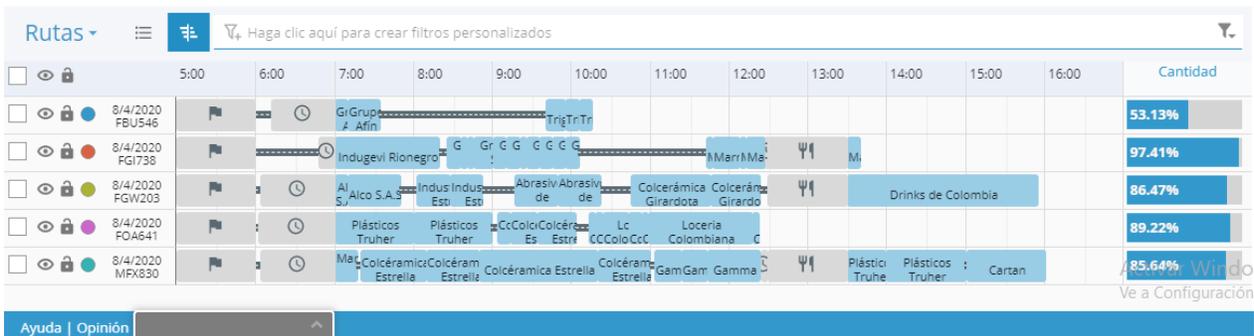


Figura 16. Diagrama de Gant Geoconcept

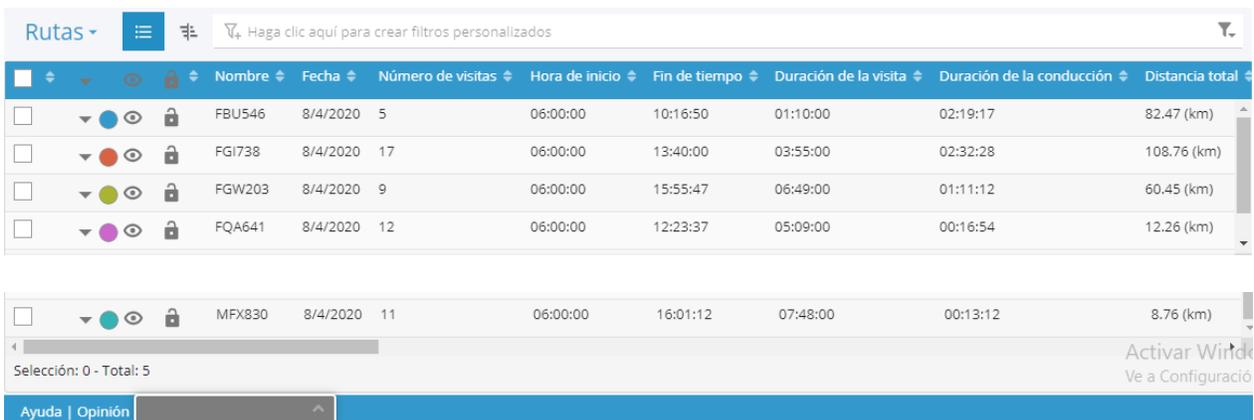


Figura 17. Datos por ruta

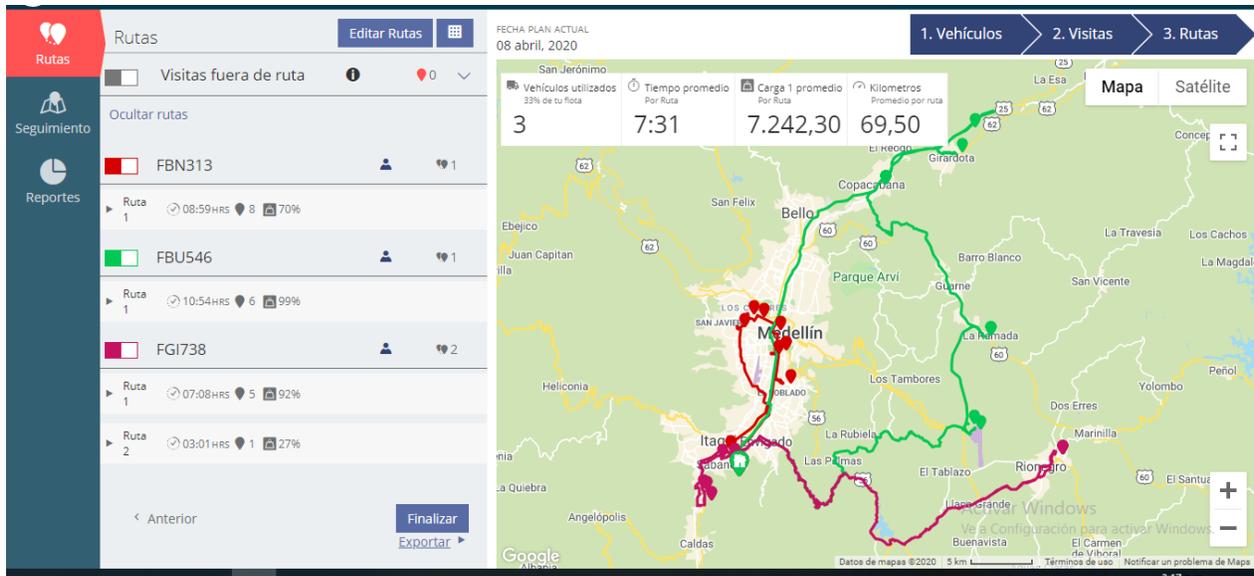


Figura 18. Emulación 23 de enero SimpliRoute

Resumen de rutas

ORIGEN	CONDUCTOR	HR INICIO	HR TÉRMINO	KILOMETROS	DURACIÓN (HORAS)	VISITAS	CARGA 1	CARGA 2	CARGA 3
				278,08	10:01	37	28.969	0	0
● FBN313				38,78		11	7.043	0	0
Ruta1	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	6:39	15:38	38,78	08:59	11	7.043 / 70%	0 / 0%
● FBU546				128,74		14	9.937	0	0
Ruta1	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	6:00	16:54	128,74	10:54	14	9.937 / 99%	0 / 0%
● FGI738				110,55		12	11.989	0	0
Ruta1	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	6:41	13:49	19,62	07:08	8	9.289 / 93%	0 / 0%
Ruta2	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	13:49	16:50	90,93	03:01	4	2.700 / 27%	0 / 0%

Figura 19. Resumen de rutas SimpliRoute

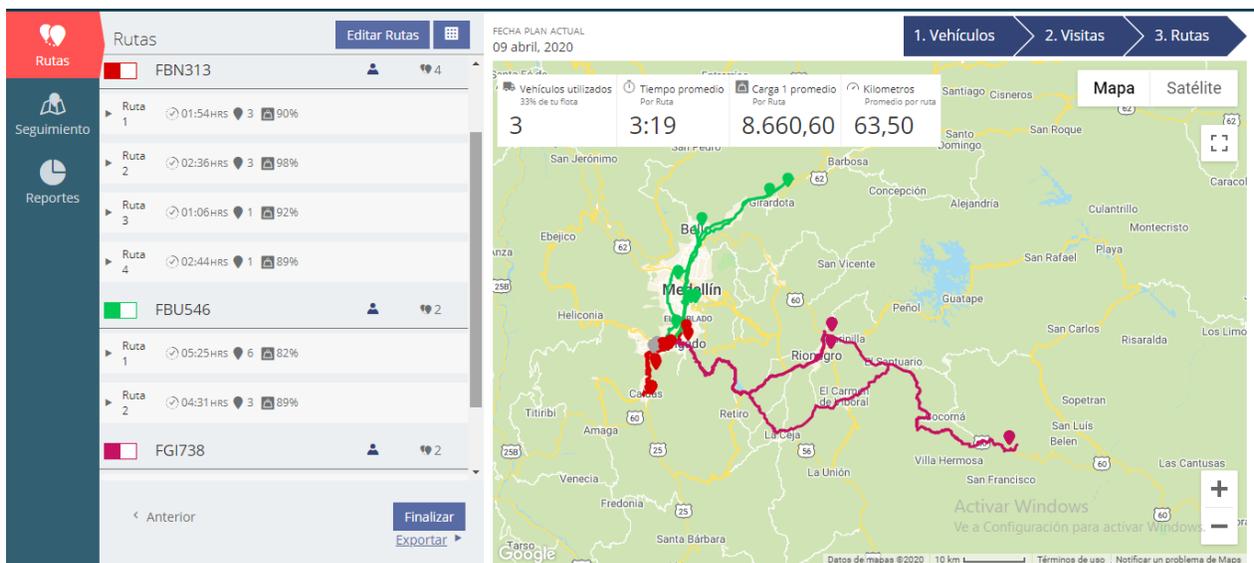


Figura 20. Emulación 24 de enero SimpliRoute

Resumen de rutas

ORIGEN	CONDUCTOR	HR INICIO	HR TÉRMINO	KILOMETROS	DURACIÓN (HORAS)	VISITAS	CARGA 1	CARGA 2	CARGA 3
				507,99	08:51	54	69.285	0	0
FBN313									
Ruta1	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	6:41	18,75	01:54	5	9.014 / 90%	0 / 0%	0 / 0%
Ruta2	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	8:35	11,75	02:36	5	9.889 / 99%	0 / 0%	0 / 0%
Ruta3	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	11:11	26,80	01:06	21	9.209 / 92%	0 / 0%	0 / 0%
Ruta4	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	12:17	3,60	02:44	2	8.908 / 89%	0 / 0%	0 / 0%
FBU546									
Ruta1	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	6:03	85,15	05:25	6	8.272 / 83%	0 / 0%	0 / 0%
Ruta2	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	11:28	50,99	04:31	4	8.970 / 90%	0 / 0%	0 / 0%
FGI738									
Ruta1	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	6:00	310,95	02:56	11	15.023 / 79%	0 / 0%	0 / 0%

Figura 21. Resumen de rutas SimpliRoute

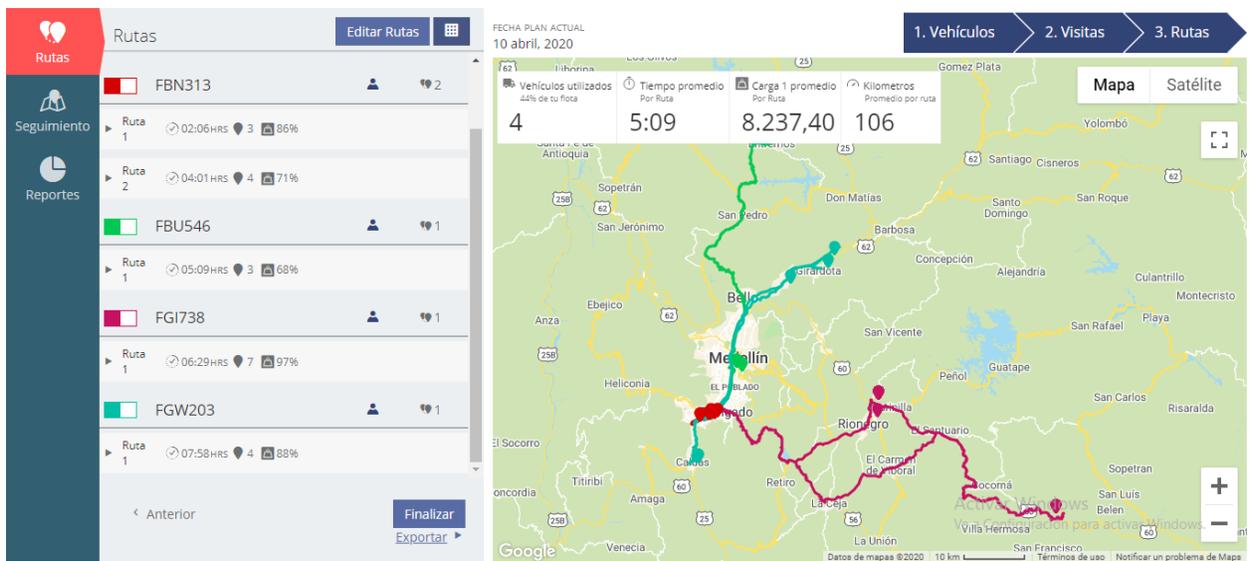


Figura 22. Emulación 29 de enero SimpliRoute

Resumen de rutas

ORIGEN	CONDUCTOR	HR INICIO	HR TÉRMINO	KILOMETROS	DURACIÓN (HORAS)	VISITAS	CARGA 1	CARGA 2	CARGA 3
				529,81	06:26	54	41.187	0	0
FBN313									
Ruta1	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	6:00	4,12	02:06	3	8.625 / 86%	0 / 0%	0 / 0%
Ruta2	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	8:06	11,64	04:01	15	7.115 / 71%	0 / 0%	0 / 0%
FBU546									
Ruta1	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	6:00	183,49	05:09	7	6.835 / 68%	0 / 0%	0 / 0%
FGI738									
Ruta1	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	6:00	216,12	06:29	17	9.741 / 97%	0 / 0%	0 / 0%
FGW203									
Ruta1	Calle 57 Sur # 43-174 Saban...	No seleccion...	6:00	114,43	07:58	12	8.871 / 89%	0 / 0%	0 / 0%

Figura 23. Resumen de rutas SimpliRoute

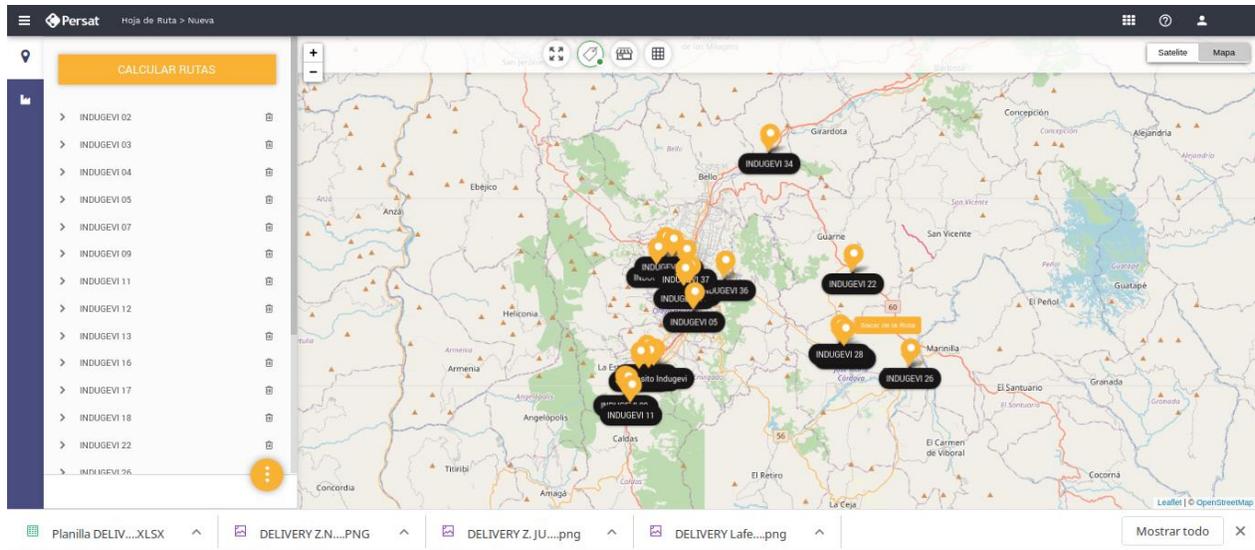


Figura 24. Ubicación de clientes en Persat

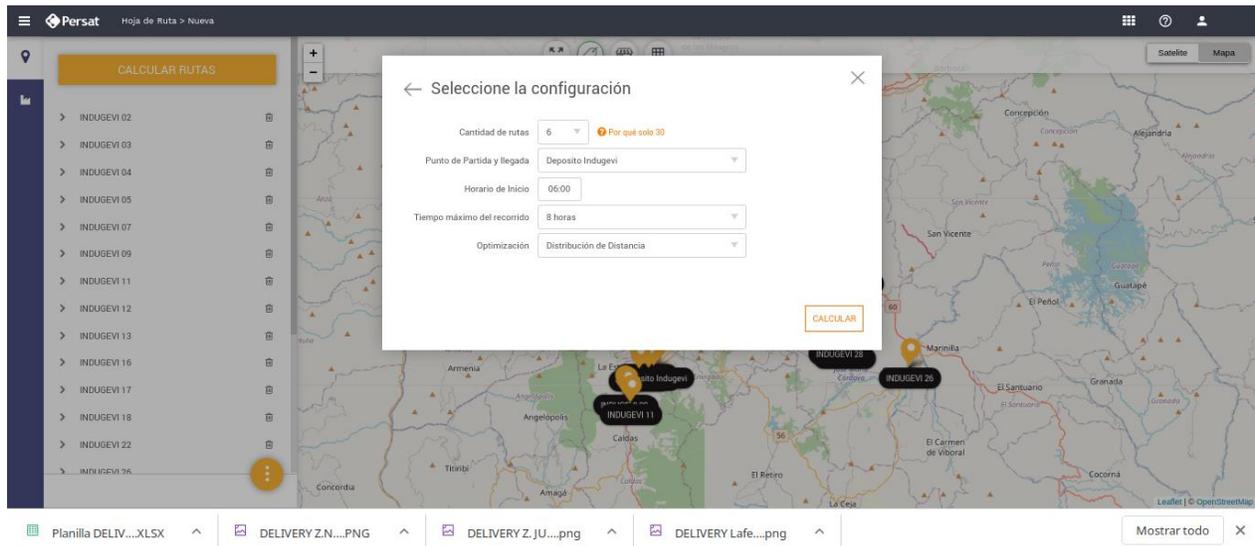


Figura 25. Configuración ruta del 23 de enero Persat

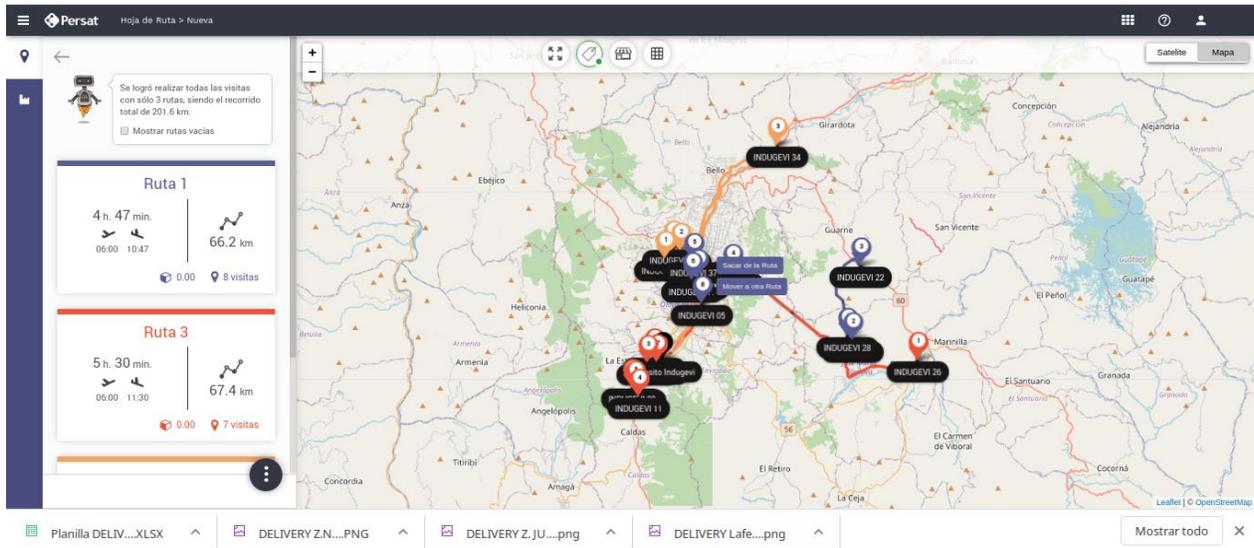


Figura 26. Resultados ruteo 23 de enero Persat

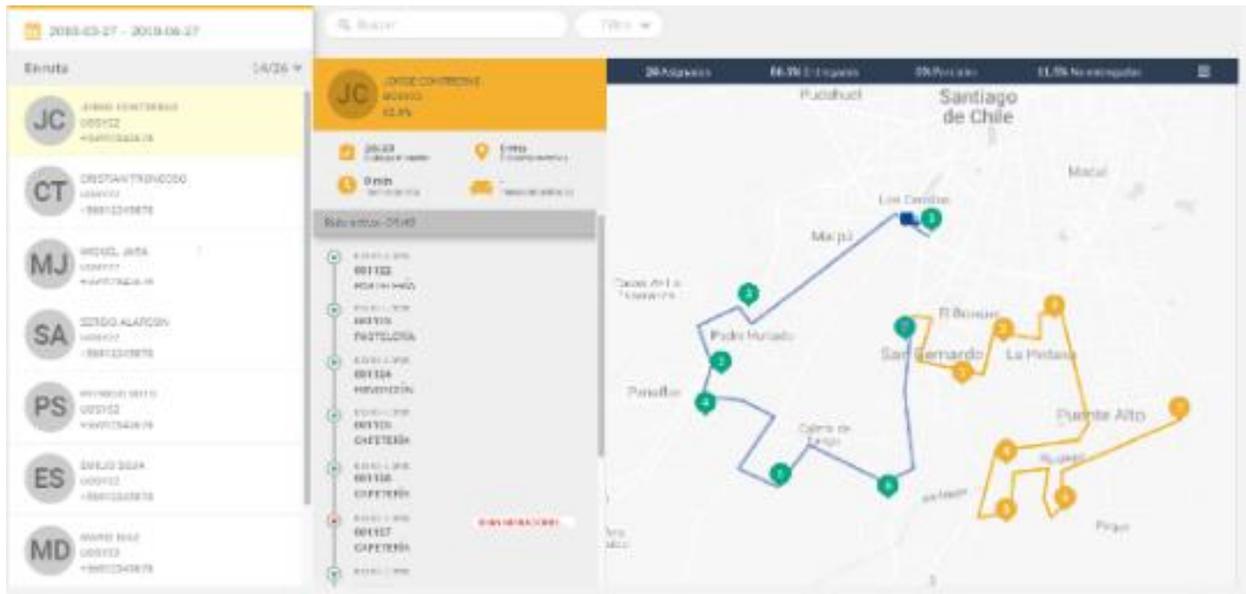


Figura 27. Ejemplo de ruteo en Beetrack



Figura 28. Interfaz seguimiento en línea Beetrack