



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Diagnóstico de las rutas de distribución del canal preventa de una empresa productora, comercial y logística de lácteos en el Valle de Aburrá del departamento de Antioquia

Edison Roberto Castañeda Gaviria

**Universidad de Antioquia
Facultad de ingeniería
Departamento de ingeniería industrial
Medellín, Colombia
2021**



Título del Trabajo

Edison Roberto Castañeda Gaviria

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en Logística Integral

Asesores (a):

Juan Guillermo Villegas Ramírez

Profesor titular, departamento de ingeniería industrial, Universidad de Antioquia

Gloria Milena Osorno Osorio

Magister en ingeniería

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería.

Departamento académico de Ingeniería Industrial.

Medellín, Colombia

2021

Diagnóstico de las rutas de distribución del canal preventa de una empresa productora, comercial y logística de lácteos en el Valle de Aburrá del departamento de Antioquia ¹

Edison Roberto Castañeda Gaviria²

Resumen:

Hoy en día las compañías se enfrentan a mercados muy cambiantes por lo que es necesario establecer políticas respecto a su red de distribución. En particular, políticas que sean acorde a los nuevos mercados que estén en la capacidad de responder de manera óptima a sus nuevos entornos. Es por esto que en este trabajo se estudia el proceso de distribución del canal preventa de una compañía de productos lácteos del Valle de Aburrá en Antioquia, que actualmente cubre 15,089 clientes con una flota de 33 vehículos de distribución. Para ello se estudió el proceso a través de un diagnóstico que permitió tener un panorama más claro de los problemas que hoy se enfrenta en términos de distribución, entre ellos el desbalance en los clientes visitados, los kilómetros recorridos y los volúmenes transportados. Por lo tanto, se consideró la posibilidad de cambiar el proceso actual de distribución. Para ello se utilizó el proceso analítico jerárquico para evaluar tres alternativas diferentes en términos de costos, capacidad de entrega diaria y respaldo de la mercancía. Posterior a esto, se aplicó un modelo de optimización que se basa en la agrupación de los clientes por clúster con el objetivo minimizar los recorridos entre los clientes, aprovechar la capacidad de carga de cada vehículo y optimizar el costo de distribución.

¹ Monografía Especialización en Logística Integral. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia.

Asesor Temático: Juan G. Villegas. Afiliación Institucional del Asesor Temático.

Asesor Metodológico: Gloria Osorno. Profesora, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia

² Especialista en Logística Integral. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Afiliación profesional

Palabras Clave: Diagnostico, logística de distribución, canal preventa.

1. Introducción

El consumo de leche y derivados lácteos viene en un crecimiento muy acelerado en comparación a la demanda de otros productos de origen bovino, desde los años 80. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que el consumo per cápita de leche en los países en desarrollo aumentará un 1,3% entre el año 2020 y el 2030, al igual para el mismo periodo se estima un crecimiento en la producción en un 2,5% anual [1]

La empresa bajo estudio está dedicada a la producción, comercialización y distribución de productos lácteos y derivados en Colombia. Cuenta con cinco fábricas ubicadas así: Cajicá, Palmira, Medellín, Bucaramanga y Aguachica. A su vez tiene 14 centros de distribución ubicados estratégicamente en todo el país.

La dirección de operaciones cuenta con seis gerencias; Planeación, abastecimiento, mejoramiento continuo, industrial, investigación y desarrollo, y logística y distribución. En particular, la gerencia de logística y distribución está encargada de asegurar, controlar y gestionar el almacenamiento y distribución de los productos de la compañía, cumpliendo con la promesa de servicio a los clientes según la calidad, cantidad y tiempos de entrega acordados.

La Figura 1 describe los canales de distribución que existen en la compañía (PV – Preventa, ST – Superetes, SM – Supermercados), los vehículos asignados para cada canal y la cantidad promedio de clientes que entrega a diario cada vehículo en la regional Antioquia. En particular, el canal preventa, en el cual se enfoca esta monografía, funciona de la siguiente manera, un vendedor atiende en promedio de 70 a 80 clientes de tiendas de barrio, a su vez estos pedidos son asignados

a un vehículo de distribución, que comparte ruta con otros clientes de otro vendedor y hará reparto al día siguiente de que el vendedor tomó los pedidos, lo que explica la relación de dos vendedores por vehículo de distribución.

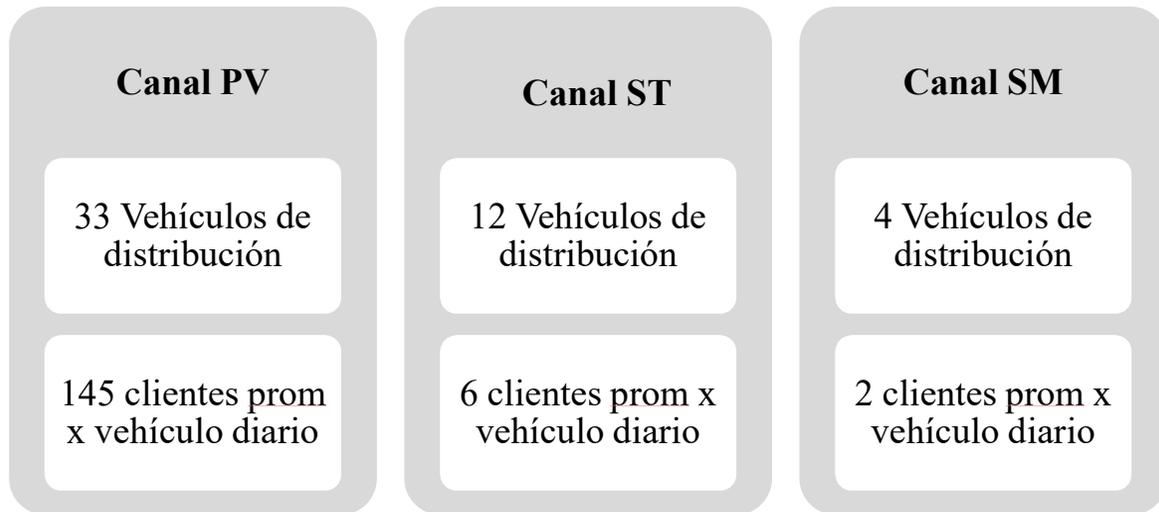


Figura 1 Tipología de canales de distribución regional Antioquia

Desde sus inicios la compañía productora, comercial y logística de lácteos ha operado su red de distribución tal cual lo hace hoy en día, manteniendo una relación de dos vendedores por un vehículo de distribución para el canal preventa. A lo largo de la trayectoria de la compañía, se han realizado algunos ajustes debido al crecimiento en las ventas, entre estos se llevó a cabo un proyecto llamado *Go To Market*, cuyo objetivo fue clasificar los clientes de acuerdo con su promedio de compra y a las características del punto de venta, para tener una atención acorde a las características del canal (Preventa, superretes o supermercado). Sin embargo, hasta el momento no se ha llevado a cabo algún diagnóstico o análisis que permita identificar oportunidades en el actual diseño de las rutas de distribución y a su vez poder atacar algunas dificultades que se vienen presentando en las rutas. Por ejemplo, la ruta M0019 que está invirtiendo más de 12 horas de trabajo para entregar el total de pedidos, al igual que la ruta M0011, pero esta con el agravante de robos debido a la circulación en altas horas de la tarde-noche en barrios con problemas de orden público.

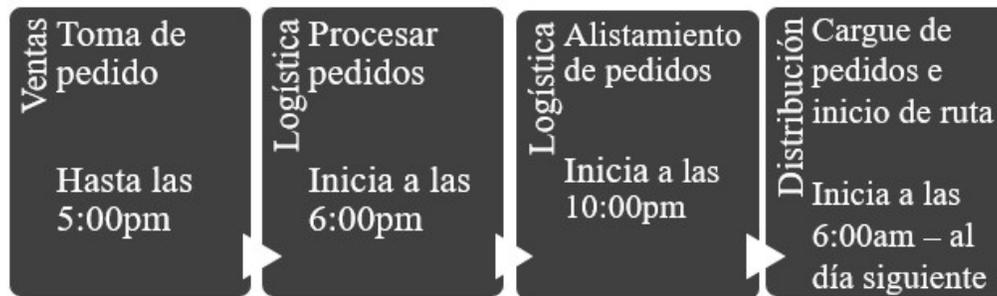


Figura 2 Cronología del proceso de atención del canal PV

El canal de distribución preventa PV, representa el 60% de las ventas en la regional Antioquia, tiene una promesa de entrega de los pedidos al día siguiente de la visita del vendedor (ver Figura 2) y tiene dos tipos de frecuencia de visita. El 71% de los clientes de este segmento se visitan en doble frecuencia a la semana, mientras que el 29% restante, se visitan 3 veces por semana. Ver Tabla 1.

Tabla 1 Distribución de clientes por frecuencia de visita del canal de preventa

	Clientes frecuencia 2 (10.730)			Clientes frecuencia 3 (4.358)		
Días de visita	Lunes	Martes	Miércoles	Lunes	Martes	
	Jueves	Viernes	Sábado	Miércoles	Jueves	
				Viernes	Sábado	

De igual manera, la Figura 3 ilustra la ubicación geográfica de los clientes, los recorridos y frecuencias (FREC) que debe hacer un vehículo de distribución cuando está en ruta. Si se toma como ejemplo los clientes que se visitan los lunes (puntos verdes en la Figura 3 en FREC_2 y FREC_3) de la zona sur del Valle de Aburrá (parte izquierda de la Figura 3), se observa que la ubicación de estos es muy dispersa; un vehículo puede llevar clientes de San Antonio de Prado, La Estrella, Sabaneta o Envigado, generando largos recorridos por la distancia entre los clientes de las diferentes frecuencias. Lo anterior se da porque un vehículo está asociado a dos vendedores y estos

por lo general no coinciden en la misma zona cuando hay clientes de diferente frecuencia, cada cliente está asociado a un vendedor y cada vendedor está asignado a una ruta de distribución. Por lo tanto, al momento de la asignación es complejo mover cargas de una ruta a otra, para lograr un balance óptimo de capacidad y promedio clientes, ya que la configuración en el sistema está establecido al momento de crear los clientes

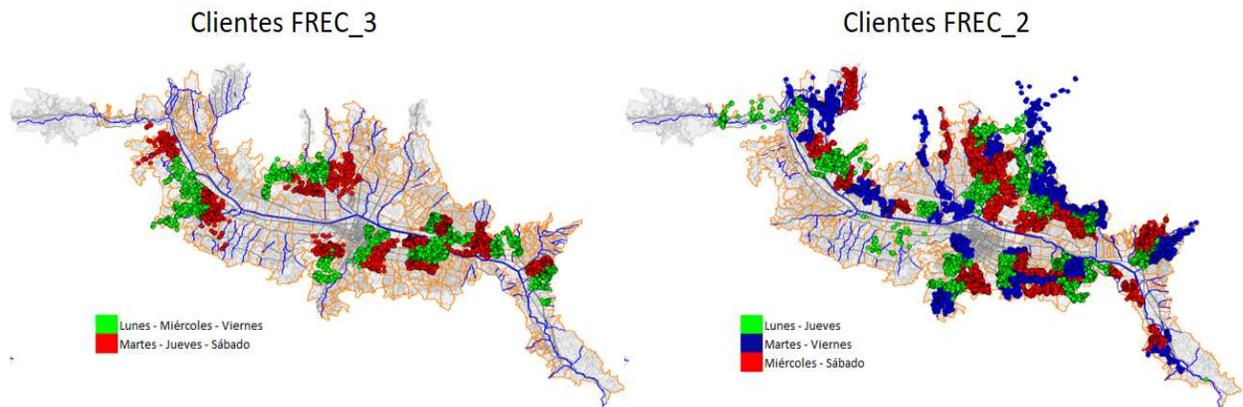


Figura 3 Ubicación geográfica de clientes según su frecuencia de visita

Adicionalmente, el canal PV presenta los siguientes retos de distribución:

- Largas jornadas de trabajo (promedio de horas en ruta de 14 a 15 horas), lo que genera desgaste del personal y grandes volúmenes de devoluciones.
- Incremento de hurtos (ligado a las horas de finalización de rutas)
- Promedio de clientes por ruta en 150 (cuando el promedio nacional está en 110)
- Gran dispersión de clientes en las rutas (no hay una concentración de clientes definida que sea optima, tal como se ilustra en la Figura 3)

En particular, el porcentaje en efectividad de entrega de este canal es del 90% y se tiene una meta del 96%; el porcentaje de utilización de la capacidad vehicular está en 75% y la meta es del 76%, y los porcentajes de devoluciones son del 5% y su meta es del 2,5%.

Por lo tanto, el desarrollo de esta monografía está compuesto por tres etapas; la primera es el diagnóstico de la operación actual de distribución de canal preventa, utilizando información interna de la compañía sobre la que se desarrolla este trabajo. En la segunda parte se plantea por medio de un método de decisión multicriterio, alternativas de selección de proveedores de transporte de última milla. En la tercera fase se adapta un modelo de optimización a la operación actual.

2. Marco teórico

El cambiante entorno comercial al que se ven expuestas las diferentes compañías del mundo, conllevan a que constantemente, estén reevaluando y reinventado sus formas de llegar a los clientes, en otras palabras, ajustando sus redes de distribución, que les permitan ser más competitivos y puedan llegar al menor costo logístico a sus clientes y/o consumidores finales, cumpliendo con lo establecido en los acuerdos de nivel servicio. Con el fin de buscar la optimización del costo logístico de distribución y almacenamiento se hace necesario con las constantes variaciones del mercado que las empresas reevalúen su cadena logística y busquen redefiniciones en cuanto a locación, procedimientos, razón de ser y estrategias que garanticen la sostenibilidad y mejora continua de la compañía [2].

Una de las decisiones operativas que debe tomarse frecuentemente en la gestión de transporte, es el diseño de las rutas con las cuales se atiende la demanda de los clientes finales [3]. Cada vez que nuevos pedidos llegan a las compañías, estos son asignados a rutas ya existentes para su entrega final, lo que hace necesario la programación dinámica de las mismas; dado que los pedidos diarios y la aleatoriedad de estos, así como la promesa de entrega esperada por los clientes, hace casi imposible predecir rutas exactas antes de tener los pedidos firmes. Sin embargo, con operaciones crecientes, entornos viales cambiantes (clima, accidentes viales, horas pico, entre otros),

regulaciones y restricciones territoriales para el tránsito, particularidades de clientes con reprogramaciones que se tienen que dar en minutos, obligan a las compañías a explorar otros modelos o formas de gestionar la última milla que complementen las funciones de los analistas expertos en rutas (que conocen la geografía, las zonas de entrega, los transportadores, los clientes, entre otras variables), con herramientas de autogestión que ayuden a pasar de un control del 100% de las operaciones a un control por excepción, descargando en las nuevas tecnologías y procesos, las decisiones del minuto a minuto [4]

A razón de lo anterior, los costos logísticos se convierten en objeto de análisis relevante pues entre mayor eficiencia se consiga en su búsqueda de optimización y disminución, en términos de tiempo, calidad y servicio, mayor ventaja competitiva tendrá la compañía, enmarcándose siempre en la agregación de valor para el cliente final. Como estrategia de reducción de costos en la red logística, son comunes en el sector los análisis y diseños de redes de almacenamiento y distribución de producto de consumo masivo, buscando con estos análisis rediseñar las organizaciones en función de la disminución de costos en temas de transporte y almacenamiento [2].

En un diagnóstico realizado el pasado año a la operación de distribución de una empresa comercializadora de alimentos en la zona noroccidental de Colombia, este propone diferentes alternativas de la operación actual, teniendo en cuenta entre otras situaciones el costo por servir logístico (costo de la operación logística sobre las ventas). Algunas de estas alternativas plantean escenarios tales como: perfilar estratégicamente sus puntos de operación alrededor del país con reconfiguraciones a la actual red de distribución logrando costos logísticos más rentables a los actuales [2].

3. Metodología

Tener una radiografía inicial de la operación de distribución es el punto de partida para poder proponer diferentes alternativas de solución a la problemática que enfrenta hoy en día dicha compañía, para esto el desarrollo de este trabajo se divide en tres fases.

Inicialmente, se busca caracterizar la operación de distribución del canal de preventa. Para esto se utilizó información interna de la compañía (ventas del último semestre del año 2020), información de los clientes de la compañía georreferenciados y la herramienta para el diseño de rutas y georreferenciación desarrollada en [5]

Luego por medio del proceso analítico jerárquico (AHP-analytic hierarchy process) se analizarán escenarios de la operación actual de distribución con posibles empresas de transporte de última milla, teniendo en cuenta aspectos relevantes para la compañía, como lo es el costo.

Por último y más importante se adaptará un modelo matemático de optimización de rutas de distribución, para lo que será necesario utilizar información de los clientes como el promedio de compra y la georreferenciación de cada uno.

3.1 Caracterización de las rutas de distribución

La primera actividad tenía como objetivo identificar los kilómetros que recorre cada vehículo en su ruta de distribución, para esto se utilizó el programa de diseño de rutas y georreferenciación, el cual es una herramienta de código abierto para representar, resolver y visualizar los resultados de los problemas de generación de rutas de vehículos (VRP). Unifica Excel, GIS público y metaheurísticas. Puede resolver problemas de generación de rutas de vehículos con hasta 200 clientes.

Sin embargo, para llegar al resultado de cada ruta, se debió fraccionar la información por frecuencia de visita, ya que el programa sólo procesa información de hasta 200 clientes. Este procedimiento permitió estimar la distancia recorrida por cada una de las rutas de entrega del canal PV

Por otro lado, para medir el promedio de clientes visitados por día se utilizó la información de las ventas del último semestre del año 2020, la cual tiene detalle de venta por cliente en dinero y volumen(litros), frecuencia de visita, ruta de entrega, entre otras. Para analizarla se creó una tabla dinámica con el promedio de clientes visitados por rutas y se grafica para un mejor entendimiento.

Con esto se puede comparar el comportamiento de cada ruta en comparación al promedio nacional.

De esta misma información se obtiene el promedio de compra cliente, es decir, el valor del pedido que se entrega a cada cliente en términos de dinero (\$) por ruta. Con la misma base de datos se logró obtener la información de las ventas por días. Para este último dato se crea una tabla dinámica la cual da como resultado el promedio de ventas por día, el objetivo de esta medición es identificar cómo están balanceadas las ventas según el día de la semana. En ambos gráficos, la información está segmentada por colores según la zona de la ciudad donde cada ruta entrega sus pedidos y de acuerdo con la información allí mostrada, se evidencia en la Figura 4, hay rutas que superan el promedio de kilómetros recorridos entre las rutas del mismo sector. En la Figura 5 se muestran que hay rutas que se salen del promedio nacional de clientes visitados por día.

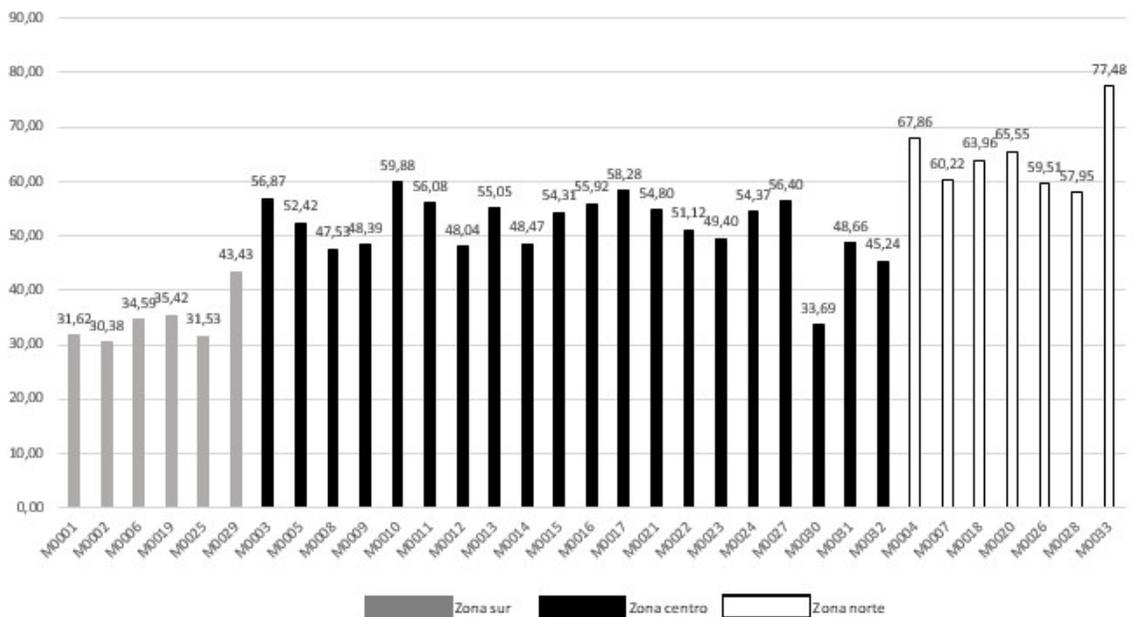


Figura 4 Promedio de kilómetros recorridos por día

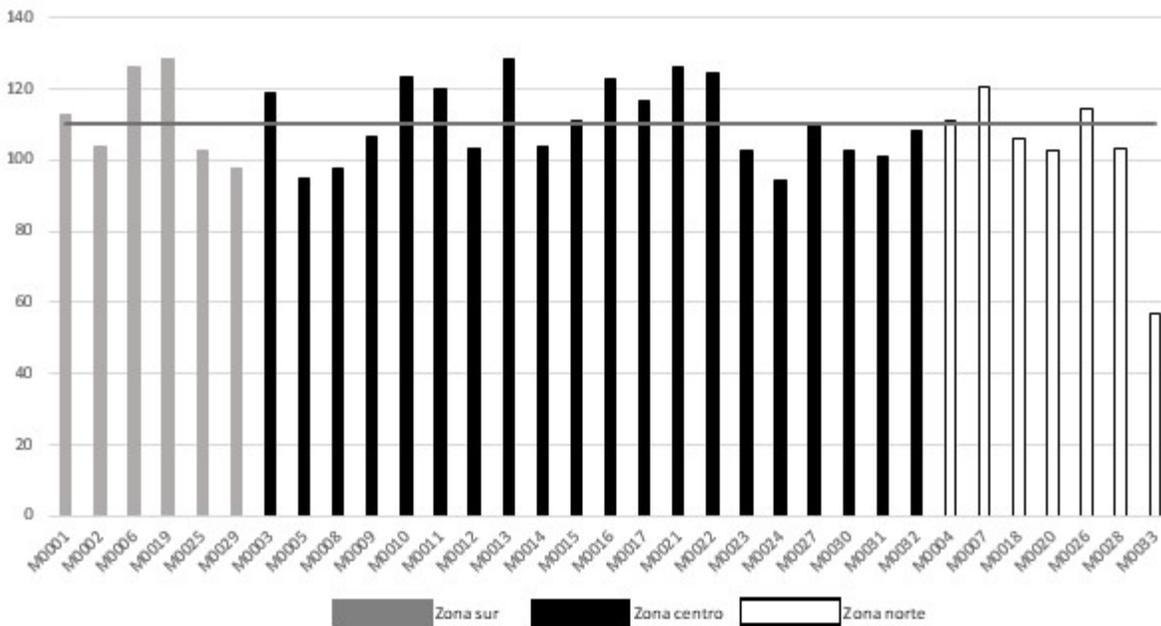


Figura 5 Promedio de clientes visitados por día

Para calcular la capacidad vehicular, lo primero que se realizó fue levantar la información de la capacidad de carga de cada vehículo, la cual está registrada en la matrícula de propiedad. Para

llevar la información de kilogramos a litros, se tomó como referencia información de la tabla de contenido neto, que administra el área de calidad de la compañía, la cual da una relación de que 1 litro equivale a 1,02Kg en promedio. Luego de tener la información de los treinta y tres vehículos que entregan en el canal PV, se cruzó con la información de la base de datos de ventas del último semestre del año 2020, de allí se obtuvieron las ventas por volumen de cada ruta y esta se cruza con la capacidad real de carga. El objetivo de analizar esta variable es identificar las rutas que tienen mayor oportunidad en cuanto a capacidad de carga y las que están muy sobrecargadas.

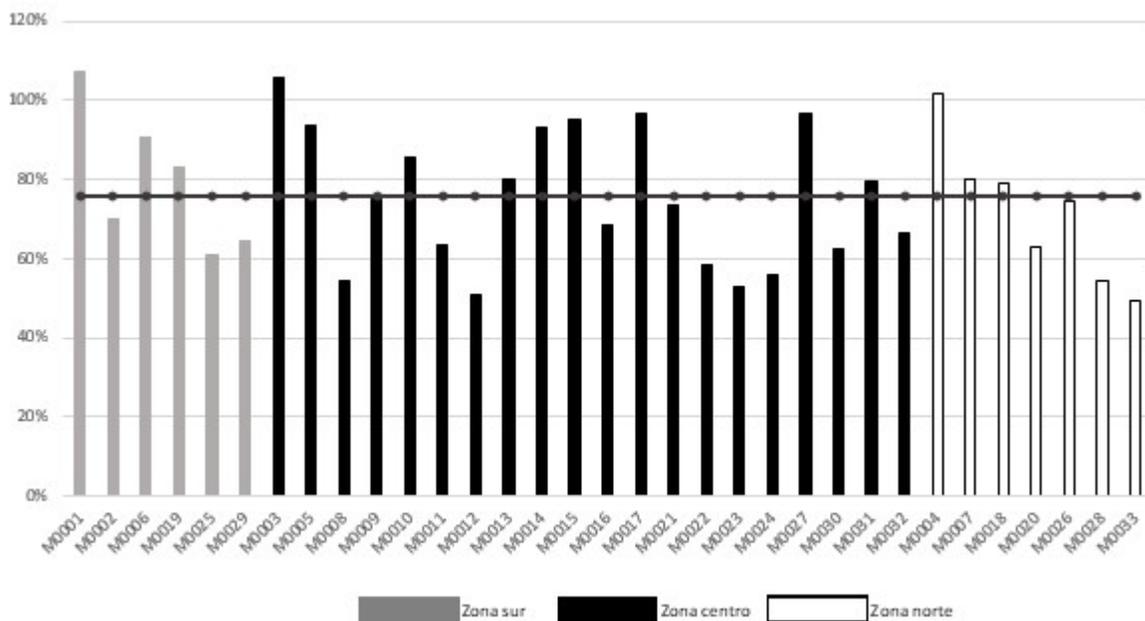


Figura 6 Capacidad vehicular

Luego de cada uno de estos análisis se puede comprender un poco la situación que ocurre en la distribución de los pedidos del canal preventa, por ejemplo, la ruta M0029 en la Figura 4, está dentro del grupo de entrega del sur del Valle de Aburrá, pero a diferencia de las demás, su promedio de kilómetros día está muy por encima, esto pasa porque los clientes de esta ruta no están concentrados geográficamente, entregando clientes desde Sabaneta, Envigado e incluso pasando la frontera de Medellín. Lo mismo pasa con la ruta M0033, la cual tiene un promedio día en

kilómetros, más alto a las demás rutas que están entregando por la misma zona, esto se da porque su recorrido termina en Barbosa, uno de los últimos municipios del norte del Valle de Aburrá. Esto mismo ocurre con otras rutas que sus promedios de kilómetros recorrido día sobrepasan la media de las otras rutas que entregan por el mismo sector, como son el caso de las rutas M003, M004, M0010, M0011, M0017, M0019,

Cuando se revisa la información de la Figura 5, se evidencia que hay 14 rutas que superan el promedio de clientes que visitan a diario, comparado con la media nacional que están en 110 clientes diarios. Esto sucede porque hay algunos sectores del Valle de Aburrá que vienen en crecimiento, lo que representa nuevos clientes y cada que un vendedor atiende nuevos clientes, por ende, éstos inmediatamente quedaran atados a la ruta que ya está predeterminada para el vendedor, porque la relación de ruta de distribución está dada dos a uno (dos vendedores por un vehículo).

3.2 Estrategias de mejora

Teniendo en cuenta que el actual modelo de distribución de la compañía opera de manera tercerizada, se decidió explorar otras alternativas de proveedores de transporte de última milla. Esto permite al comparar entre todas las alternativas posibles, criterios que sopesen y se ajusten mejor a la necesidad de la compañía. Para tal fin se contactaron dos compañías reconocidas de transporte, las cuales se llamarán “B” y “C”, a las que se les solicito cotizar toda la operación de distribución del canal preventa de la compañía. Como se mencionó en un principio se tendrá en cuenta la operación actual en este ejercicio, esta operación se llamará de ahora en adelante “A”

Una vez teniendo toda la información recopilada de las tres empresas, se debe buscar una metodología que permita hallar una solución que ofrezca un buen balance en los distintos criterios de evaluación (que se discutirán más abajo). Para tal fin se acude a los métodos de decisión

multicriterio que ayudan a la toma de decisiones y gracias a la sustentación científica que poseen aportan mejoras significativas para tomar una decisión [6]

Para este ejercicio se utilizó el proceso analítico jerárquico (AHP-analytic hierarchy process), el cual, es un método de trabajo lógico y estructurado que permite estructurar el proceso de toma de decisiones en escenarios complejo cuando existen múltiples criterios, mediante la descomposición del problema en una estructura jerárquica. Básicamente, la elección de este método se dio gracias a la oportunidad que le brinda al tomador de decisiones de estructurar un problema de decisión multicriterio en forma visual, mediante la construcción de una jerarquía de atributos, la cual está compuesta en su forma más simple por tres niveles. [7]

Inicialmente se debe hacer un inventario de los criterios que se consideren más importante a la hora de selección el futuro proveedor, lo que conlleva a que a una emisión de juicios guiados por información científica, técnica y/o por experiencia y conocimiento, convirtiendo estos en la fuente primaria para evaluar los componentes de la metodología.

Una vez se tenga el inventario de criterios de selección definidos se organizan los datos en una matriz $n \times n$, siendo n el número de criterios. Luego se asigna un valor numérico que va desde el uno hasta nueve como lo muestra la Figura 7, de acuerdo con la importancia que tenga uno sobre el otro tal como los muestra la

Tabla 2 los criterios utilizados y su importancia fueron (costo por litro, promedio de pedidos de entregados por día - PDH, Flexibilidad a la demanda, garantías u pólizas, experiencia y reputación.

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 | Igualmente preferida |
| <input type="checkbox"/> 3 | Moderadamente preferida |
| <input type="checkbox"/> 5 | Fuertemente preferida |
| <input type="checkbox"/> 7 | Muy fuerte preferencia |
| <input type="checkbox"/> 9 | Extremadamente preferida |

Figura 7 Escala de calificación

Tabla 2 Clasificación para jerarquizar criterios

	Costo por litro	PDH	Flexibilidad de la demanda	Garantías o pólizas	Experiencia y reputación	Medía geométrica	Ponderación
Costo por litro	1	1/2	5	5	5	2,29	0,33
PDH	2	1	5	5	3	2,72	0,39
Flexibilidad de la demanda	1/5	1/5	1	1/5	6	0,54	0,08
Garantías o pólizas	1/5	1/5	5	1	7	1,07	0,15
Experiencia y reputación	1/5	1/3	1/6	1/7	1	0,31	0,04
						6,93	

Cuando se compara un criterio entre sí, el valor será igual a 1 (uno), pues se está comparando el criterio consigo mismo. Por su parte, cuando la comparación se hace con otro criterio diferente, se asigna el valor del número entero al que mejor se ajuste según la clasificación y se asigna el inverso multiplicativo al que menos se ajuste. Como se aprecia en la

Tabla 2, el costo por litro es fuertemente preferida comparándolo con la flexibilidad de la demanda, por tal razón en la matriz se le asigna el número entero, en este caso 5 (cinco) al costo por litro y el número fraccionario 1/5 a la flexibilidad de la demanda. Una vez realizadas todas las comparaciones entre cada uno de los criterios y de asignarles un valor numérico, el método se encarga de realizar la priorización de los criterios; para tal efecto se utiliza el método de la media Geométrica por filas, donde la prioridad de cada criterio se obtiene por la normalización de la media geométrica por filas asociadas a cada criterio de la matriz [6]

Según la clasificación de la

Tabla 2, los criterios con mayor relevancia y en orden de ponderación son: promedio de pedidos de entregados por día, costo por litro y garantías o pólizas.

Luego que se tengan los criterios ya definidos con los que se van a trabajar, el paso a seguir es realizar una matriz de preferencia por cada criterio entre las empresas, para esto se hace una comparación pareada entre las opciones ingresando los juicios establecidos en la Figura 7. Al igual que en la

Tabla 2, en la matriz de preferencia se utiliza la misma metodología, ya en este caso se confronta cada uno de los criterios entre las empresas como lo muestran la Tabla 3. Lo presentado en esta tabla, se debe realizar con cada uno de los criterios seleccionados al inicio en la

Tabla 2.

Tabla 3 Matriz de preferencia Criterio PDH

PDH	A	B	C	Medía geométrica	Ponderación
A	1	1/2	1/8	0,40	0,09
B	2	1	1/4	0,79	0,18
C	8	4	1	3,17	0,73
				4,37	

Una vez realizado cada una de las matrices de preferencia para cada criterio, en las que se llevaron a cabo todas las comparaciones, se obtiene el resultado final de cada una de las empresas analizadas frente a cada criterio, con el ordenamiento de las alternativas teniendo en cuenta todos los elementos de la metodología para definir cuál es la alternativa que se distingue por un mejor nivel de cumplimiento frente a los criterios de selección. Para esto, en el método AHP, se realiza la

sumatoria de las multiplicaciones del peso de cada criterio por el peso de la alternativa comparada frente a este criterio, así como lo muestra la siguiente expresión. [6]

$$p_j = \sum_{i=1}^n W_i \times A_{ij} \quad (1)$$

Donde:

W_i es el peso del criterio de Selección i

A es el puntaje de cada alternativa j frente al criterio i

p_j : es el puntaje total de la alternativa j

PDH	CxL	Polizas		Criterios	Ranking de alternativas
$\begin{bmatrix} 0,09 \\ 0,18 \\ 0,73 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,76 \\ 0,15 \\ 0,09 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,05 \\ 0,47 \\ 0,47 \end{bmatrix}$	PDH	$\begin{bmatrix} 0,09 \\ 0,72 \\ 0,18 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,57 \\ 0,21 \\ 0,22 \end{bmatrix}$
			CxL		
			Polizas		

Figura 8 Matriz de calificación para jerarquizar alternativas vs criterios

La opción A obtiene un resultado muy superior frente a las otras dos opciones B y C, a pesar de ser B y C empresas muy reconocidas en el mercado como proveedores de última milla. En esta decisión, el costo es muy determinante por lo que la mejor opción es mantener la operación actual

de transporte realizando una reestructuración que permita tener un mejor balance entre todas las rutas. Por tal razón la siguiente sección ahonda en las alternativas de mejora de la operación actual.

3.3 Modelo de optimización

Una vez confirmado que la operación de distribución presenta oportunidades en términos de balance de su flota y que operar bajo el modelo de tercerización actual es la mejor alternativa luego de compararse con otras empresas dedicadas a la distribución en la última milla, se acude a fuentes académicas con el objetivo de encontrar un modelo de optimización que se ajuste a la operación.

El modelo con el que se pretende resolver el problema de distribución, planteado en la monografía, es un modelo que se diseñó en [8] el cual tiene como objetivo en una primera fase, agrupar los clientes en clúster y lo que se busca con esto es minimizar dos términos; el uso de la flota y la distancia.

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in T} CF_k y_{jk} \quad (1)$$

subject to:

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$l \sum_{k \in T} y_{jk} \leq \sum_{i \in I} x_{ij} \leq h \sum_{k \in T} y_{jk} \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} s_i x_{ij} \leq |D| \sum_{k \in T} Q_k y_{jk} \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} y_{jk} \leq m_k \quad \forall k \in T \quad (5)$$

$$x_{ij} \leq \sum_{k \in T} y_{jk} \quad \forall i \in I; \forall j \in J \quad (6)$$

$$\sum_{k \in T} y_{jk} \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I; \forall j \in J \quad (8)$$

$$y_{jk} \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J; \forall k \in T \quad (9)$$

Figura 9 Modelo de agrupación de clientes. Fuente: [8]

La función objetivo (1) busca minimizar el costo en función de las distancias entre los clientes.

Este modelo cumple las siguientes restricciones:(2) Cada cliente está asignado a un solo clúster, es decir que se asignan los clientes a una zona de la ciudad donde se va a realizar la entrega. (3) Hay un número mínimo y máximo de clientes que puede atender una ruta en una semana, esto indica que las rutas no queden muy desbalanceadas. (4) La capacidad de los pedidos no debe superar la capacidad máxima que puede entregar un vehículo de distribución en una semana. (5) Representa un número máximo de vehículos disponibles de cada capacidad. (6) Asegura que cada clúster asigne un vehículo disponible. (7) Garantiza que sólo se seleccione una capacidad para cada vehículo. (8)(9) Definen los dominios de las variables.

Ejecución del modelo. Para lograr ejecutar el modelo fue necesario construir una base de datos con la siguiente información: Coordenadas por cliente, Promedio semanal de venta por cliente, Capacidad vehicular semanal por ruta, Costo semanal de cada ruta. Una vez consolidada la información en un archivo de extensión “.dat” y con la ayuda de un software libre y de código abierto Anaconda, que es una distribución de los lenguajes Python, utilizada en ciencia de datos y aprendizaje automático, que incluye procesamiento de grandes volúmenes de información, análisis predictivo y cómputos científicos [9] Se realizó la agrupación inicial de los clientes usando para ello sus coordenadas geográficas y el algoritmo *k-means* de la librería sklearn de Python [10] . Luego se ejecutó el modelo de optimización para lograr que las restricciones de número de clientes y capacidad de los vehículos se cumplan. Este modelo se ejecutó usando el software Xpress-MP bajo el servicio de optimización en la nube de NEOS [11]

Una vez se ejecuta el modelo el resultado que se muestra es la agrupación y asignación de clúster por rutas, creando grupos de clientes por sector, minimizando desplazamientos de un clúster a otro.

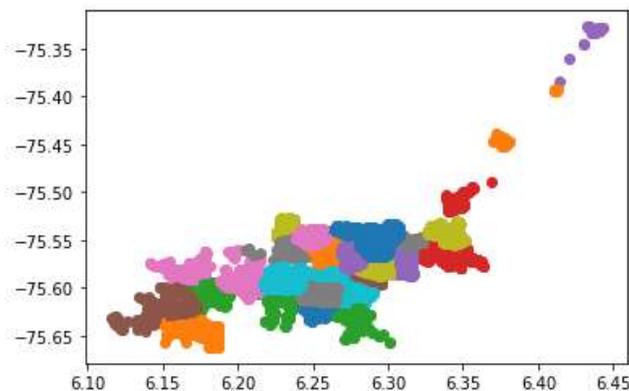


Figura 9. Agrupación de los clientes por clúster usando K-means en Python

La siguiente fase, luego de tener diseñado cada clúster, es la fase de programación, para la cual se utilizó el modelo que se muestra en la Figura 10.

$$\min wh - wl \quad (10)$$

subject to:

$$\sum_{c \in C: f^c = f_i} r_{ic} = 1 \quad \forall i \in I \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C: f^c = f_i} a_{ct} r_{ic} = z_d \quad \forall d \in D \quad (12)$$

$$wl \leq z_d \leq wh \quad \forall d \in D \quad (13)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \frac{s_i}{f_i} a_{cd} r_{ic} \leq Q_k \quad \forall d \in D \quad (14)$$

$$r_{ic} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I; \forall c \in C \quad (15)$$

$$wl, wh \in \mathbb{Z}^+ \quad (16)$$

$$z_d \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall d \in D \quad (17)$$

Figura 10. Modelo de programación diaria Fuente: [8]

Lo que hace este segundo modelo es balancear el número de clientes que hay entre cada día de la semana, es decir minimiza la diferencia entre el día que menos clientes tiene y el día que más clientes tiene asignándole a cada cliente una frecuencia de entrega, igual a la que requiere, garantizando además que los clientes que están asignados en cada día no excedan la capacidad diaria del vehículo.

La función objetivo (10) busca minimizar la diferencia entre el número máximo y mínimo de visitas diarias. Las restricciones (11) garantizan que cada cliente se asigne exactamente a una frecuencia de visita. (12) en esta restricción cuentan el número de visitas en cada cliente. La restricción (13) asegura el equilibrio entre los días en términos de visita a los clientes. La restricción (14) constituye la restricción de capacidad diaria de cada vehículo seleccionado. Finalmente (15)(16)(17) Definen los dominios de las variables.

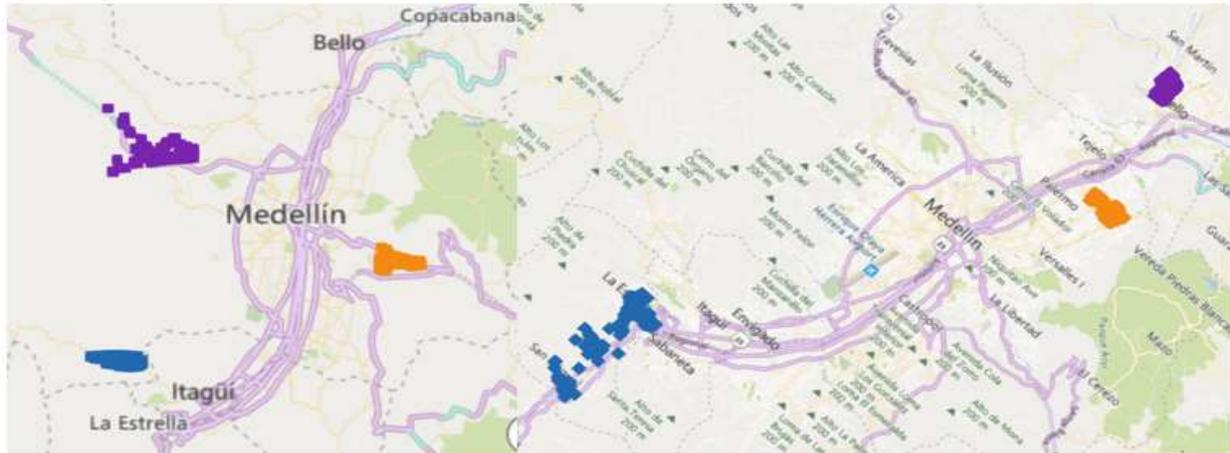


Figura 10 Clúster de clientes de las rutas M001 y M019

La Figura 10 muestra como quedaron agrupados los clientes de las rutas M001 y M019 luego de utilizar el modelo, cada color dentro del mapa corresponde al día en que se visita cada clúster de clientes. Cuando se compara esta distribución de clientes a la que existe hoy día, se puede evidenciar que hay una mejor concentración de cada uno de acuerdo a su frecuencia de visita, lo que garantizará disminuir los recorridos de un cliente a otro y poder lograr un mejor balance de clientes visitados por día. Por ejemplo, la ruta M001 que actualmente recorre 34kms por día y atiende en promedio 120 clientes en cada visita, con esta nueva asignación pasa a recorrer en promedio 30kms y a visitar 108 clientes por día. Lo mismo ocurre con la ruta M019, la cual presenta largos recorridos en comparación a las demás rutas que actualmente atienden en su sector, esta ruta recorre en promedio 36kms por día y atiende alrededor de 135 clientes en cada visita. Esta ruta pasaría a recorrer en promedio 30kms por día y visitaría en promedio 110 clientes diarios.

4. Conclusiones

De acuerdo a la información analizada en las figuras 4, 5 y 6, se puede evidenciar que al menos nueve rutas del esquema de distribución actual presentan oportunidades de mejora importante. Ya

que son de las más críticas en cuanto a recorridos diarios, clientes visitados por día y capacidad vehicular, pues aparecen en dos o más de las métricas por encima de los promedios o las metas.

Luego de analizar los resultados obtenidos con la metodología AHP para analizar alternativas diferentes de operación es evidente que los criterios con mayor relevancia son el costo por litro, el promedio de pedidos entregados por día (PDH) y las garantías o las pólizas, siendo el costo por litro el de mayor peso ante los demás criterios. Hoy en día la compañía le apuesta a sostenibilidad y lograr mantener un costo de distribución bajo apunta a este objetivo de compañía, distribuir más litros de leche a un menor costo. El criterio de las garantías o pólizas toma un segundo plano en este análisis y se convierte en elemento clave, pues para la compañía es fundamental poder tener mecanismos que aseguren los productos que salen a la calle y están expuestos a hurtos o en el peor de los casos siniestros.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la ejecución de los modelos de optimización se recomienda ampliar la flota de vehículos, pasando de 33 a 35 vehículos, esto con el fin de lograr alcanzar el promedio nacional de clientes atendidos por día (PDH), pasando de 150 clientes a 110 clientes por día. Adicionalmente esto ayudará a mejorar la calidad de vida de los colaboradores, pues reducirá los tiempos en ruta hasta en un 27%, permitiendo así finalizar cada ruta dentro de los tiempos estimados por la compañía y reduciendo los riesgos de estar a altas horas de la tarde en zonas complejas para la seguridad de la mercancía, los vehículos y las tripulaciones.

Con los resultados obtenidos en este diagnóstico, se propone realizar a futuro un balance de las rutas de distribución del canal superretes y supermercados, adaptando los modelos utilizados en el desarrollo de esta monografía a las restricciones que se puedan presentar en cada canal, como lo son las citas de recibo, zonas con horarios de parqueo, entre otros.

5. Agradecimientos

A la empresa evaluada por la disponibilidad, facilidad y el acceso a la información.

A mis asesores metodológicos y temáticos por su acompañamiento y orientación.

6. Referencias

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), «Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/i1283s/i1283s.pdf>. [Último acceso: 03 03 2021].
- [2] V. Rondón y C. Rios, «Universidad de Antioquia,» 2020. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10495/14998>. [Último acceso: 4 11 2020].
- [3] A. F. Correa, H. M. Gomez, J. F. Loaiza, D. Lopera y J. G. Villegas, «Universidad de Antioquia,» [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10495/4797>. [Último acceso: 01 11 2020].
- [4] W. Marín, «Zonológica,» 6 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://zonologica.com/ultima-milla-la-ventaja-competitiva-de-los-negocios-del-futuro/>. [Último acceso: 1 Noviembre 2020].
- [5] G. Erdoğan, «An open source spreadsheet solver for vehicle routing problems,» *Computers & operations research*, vol. 84, pp. 62-72, 2017.
- [6] D. F. Ramirez Malule y O. J. Rodriguez Olaya, «Metodología para seleccionar un proveedor de servicios logísticos por medio de una herramienta de decisión multicriterio: Metodo AHP,» Medellín, 2011.
- [7] S. A. Berumen y F. Llamazares Redondo, «La utilidad de los metodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente».
- [8] E. Aguirre Gonzalez y J. Villegas, «A two-phase heuristic for the collection of waste animal tissue in a Colombian rendering industry,» *Communications in Computer and Information Science*, vol. 742, pp. 511 - 521, 2017.
- [9] Computer software, «Anaconda Software Distribution.,» 2021. [En línea]. Available: <https://anaconda.com>.
- [10] F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel y E. Duchesnay, *Scikit-learn: Machine learning in Python.*, vol. 12, the Journal of machine Learning research, 2011, pp. 2825-2830..
- [11] J. Czyzyk, M. P. Mesnier y J. J. and Moré, «The NEOS Server,» *Journal on Computational Science and Engineering* 5(3), 1998.
- [12] IEP, «Instituto Europeo de postgrados,» [En línea]. Available: <https://www.iep.edu.es/ques-logistica-de-distribucion/>. [Último acceso: 2 Noviembre 2020].
- [13] J. Arroyave, «Determinar una alternativa de ruteo para aplicar en la distribución de última milla en la operación de ensacados de una empresa cementera colombiana.,» 2020.