

# DISEÑO DE RUTA DE DISTRIBUCIÓN PARA RESTAURANTES EN CALI, PEREIRA Y MEDELLÍN

AUTOR

JOAN DANILO LÓPEZ VARGAS

Ingeniero Industrial

[U9500833@unimilitar.edu.co](mailto:U9500833@unimilitar.edu.co)

Artículo Trabajo Final del programa de Especialización en Gerencia Logística Integral



La U  
**acreditada**  
para todos

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA LOGISTICA INTEGRAL  
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
JUNIO 2018

# DISEÑO DE RUTA DE DISTRIBUCIÓN PARA RESTAURANTES EN CALI, PEREIRA Y MEDELLÍN

## DISTRIBUTION ROUTE DESIGN FOR RESTAURANTS IN CALI, PEREIRA AND MEDELLIN

JOAN DANILO LÓPEZ VARGAS  
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA LOGÍSTICA INTEGRAL  
BOGOTÁ D.C., Colombia  
[U9500833@unimilitar.edu.co](mailto:U9500833@unimilitar.edu.co)

**Resumen** – El estudio de las rutas óptimas de distribución desde el famoso paper de Dantzig y Ramer, ha sido un área de constante evolución en la logística. Hoy en día, cuando la minimización de costos y el aumento de los márgenes se han vuelto una obsesión de las empresas, y se ha convertido junto con la innovación en los principales determinantes de supervivencia de las empresas en el largo plazo, el papel de la logística es fundamental para cumplir con estos objetivos. El objetivo de esta investigación es diseñar rutas óptimas para la distribución de una importante cadena de restaurantes en las ciudades de Cali, Pereira y Medellín en Colombia. Para la realización de la investigación se utilizarán herramientas de VPR y software de uso libre disponible en el mercado actualmente.

*Palabras clave:* ruteo, distribución logística, VRP, optimización de rutas, sistema de distribución.

**Abstract** - The study of optimal distribution routes since the famous Dantzig and Ramer paper has been an area of constant evolution in logistics. Nowadays, when minimizing costs and increasing margins have become an obsession for companies, and together with innovation have become the main determinants of companies' long-term survival, the role of Supply Chain Management is essential to meet these objectives. The objective of this research is to design optimal routes for the distribution of an important chain of restaurants in the cities of Cali, Pereira and Medellín in Colombia. To carry out the research, VPR tools and free license software available in the market will be used.

*Keywords:* routing, logistics distribution, VRP, route optimization, distribution system.

### I. Introducción

Dentro de la literatura de la Cadena de Suministro existe el concepto de logística de última milla (*Last Mile Logistics*), definición originalmente usada en la industria de las telecomunicaciones, pero que ha sido aplicada a la cadena de suministro y básicamente busca estudiar cómo debe hacerse llegar los bienes y servicios al consumidor final a través del costo mínimo posible. Este ha sido un tema muy relevante en tiempos recientes dentro del área de la logística, ya que hay estudios que indican que este tramo final puede significar hasta el 28% del costo total del flete (Goodman, 2005).

Adicional a esto, a medida que las ciudades van creciendo y se van volviendo más densamente pobladas, las autoridades municipales toman regulaciones más estrictas para el tránsito de camiones de carga, esto es un proceso que se está viviendo actualmente en la ciudad de Bogotá D.C., capital de Colombia y otras ciudades del país, donde los centros de distribución y el transporte pesado se están viendo obligados a trasladarse hacia las periferias de los centros urbanos, ya que las restricciones de movilidad impuestas por las alcaldías no permiten el tránsito de vehículos pesados dentro de zonas específicas de la ciudad o a horarios específicos.

Para esta investigación se busca encontrar la ruta óptima para realizar la distribución de alimentos para una importante cadena de restaurantes en las ciudades (y sus alrededores) de: Cali, Pereira y Medellín. Para esto, se cuenta con los puntos a los cuales hay que entregar y las frecuencias mensuales de entrega. Para la realización de este trabajo se utilizarán herramientas de *VRP (Vehicle Routing Problem)*, así mismo se utilizará la versión gratuita del software ROUTE XL.

El artículo está conformado por tres partes, una primera parte que consiste en la introducción y revisión bibliográfica, una segunda etapa correspondiente al análisis de datos y desarrollo del problema, y una tercera parte consistente en las conclusiones del trabajo.

## II. Metodología

El problema de ruteo de vehículos se remonta a 1959 con el artículo de Dantzig y Ramser "*Problema de Despacho de Camiones*" (*Truck Dispatching Problem*), el objetivo de su investigación era encontrar el ruteo óptimo de una flota de camiones repartidores de gasolina desde un terminal a granel hasta una gran cantidad de estaciones de servicio (Golden, S., & Wasil, 2008). Unos años más tarde, en 1964 Clarke y Wright desarrollaron un algoritmo heurístico más efectivo basado en el concepto de ahorros, en el que se mejoró la solución propuesta inicialmente por Dantzig y Ramser, a partir de estos artículos iniciales la investigación en el campo del ruteo de vehículos ha tenido una importante difusión e interés, en lo que ha derivado en un importante interés por parte de muchos investigadores para expandir el conocimiento en este tema (Toth & Vigo, 2002). Se han ido desarrollando variaciones al problema inicial de VRP tales como: CVRP; problema de ruteo con restricciones de capacidad del vehículo, DVRP; problema de ruteo con restricciones de Distancia, VRPTW; problema de ruteo con restricciones de ventana de tiempo en cada parada, VRPB; problema de ruteo con restricciones de logística inversa (devoluciones), SDVRP; problema de ruteo con entregas parciales (Barreto D., 2016). Esto por nombrar algunas de las variables del problema de VRP, según Braekers et al, en un paper escrito en 2015, al problema de VRP existían alrededor de 29 variables (Braekers, Ramaekers, & Van Nieuwenhuyes, 2016).

En el problema de ruteo de vehículos existen: el centro de distribución, los vehículos y los clientes.

Los clientes tienen las siguientes características típicas:

- Corresponden a un nodo dentro de la red de distribución
- Cantidad de bienes (demanda), puede ser de diferentes clases, que deben ser dejados o recogidos donde un cliente.
- Periodos de tiempo durante el día (ventanas de tiempo) donde únicamente puede ser atendido un cliente.
- Cantidad de tiempo máximo para atender un cliente (tiempo de cargue o descargue), esto puede estar relacionado y depender del tipo de vehículo, y,
- Subconjunto de vehículos disponibles que pueden ser utilizados para atender un cliente (teniendo en cuenta limitaciones de infraestructura del cliente o regulaciones para cargue y descargue de vehículos).

Las flotas de vehículos para atender a los clientes pueden ser fija o variable dependiendo de los requerimientos del cliente. Las flotas de vehículos tienen las siguientes características típicas:

- Centro de distribución desde donde originan todos los vehículos
- Capacidad del vehículo, expresada como peso máximo, volumen máximo, o número de estibas máximo que puede cargar un vehículo.
- Posible división del vehículo en compartimentos dentro de este, cada uno caracterizado por su capacidad y por los tipos de bienes que pueden ser llevados.
- Dispositivos para descargue de vehículos están disponibles.
- Tiene asociados costos con la utilización del vehículo. (Toth & Vigo, 2002)

Los objetivos del Problema de Ruteo de Vehículos típicamente son:

- Minimización del costo global de transporte, dependiendo de la distancia global recorrida.
- Minimización del número total de vehículos utilizados para servir a todos los clientes.
- Balanceo de las rutas, respecto a tiempo de viaje y carga de los vehículos.
- Minimización de las penalidades asociadas con entregas parciales a los clientes (Ballou, 2004).

Para la solución de problemas de VRP se han establecido dos tipos de métodos de soluciones, los métodos exactos y los métodos aproximados. Dentro de las soluciones de tipo exacto, existen los algoritmos de acotación y ramificación. Los métodos de solución aproximados, a pesar de no ofrecer una solución óptima a los problemas, permiten evaluar una mayor cantidad de variables, escenarios y acercar la teoría a problemas cotidianos. Los métodos aproximados se clasifican en algoritmos de búsqueda local, algoritmos de dos etapas, algoritmo GRASP y algoritmos evolutivos (Velásquez, C., 2015).

Otro tipo de método de solución inexactas conocidas como heurísticas, las cuales empezaron a ser desarrolladas a finales del siglo XX, las soluciones más conocidas dentro de tipo de soluciones son: algoritmos genéticos, colonia de hormigas, búsqueda tabú, búsqueda de vecindades, recorrido simulado y redes neuronales (Velásquez, C., 2015).

Las empresas tienen problemas específicos debido a la incertidumbre, tamaño de operaciones, entre otros. Existen tres tipos de VRP específicos que valen la pena ser mencionados para tratar el tema de esta investigación.

### ***OVRP – Open VRP***

En este tipo de VRP 'Abierto' la diferencia consiste en que los vehículos no requieren regresar al centro de distribución una vez terminan la ruta que están realizando. En caso de regresar, deben visitar los clientes en orden inverso, adicionalmente los VRP tienen dos objetivos para optimizar, minimizar el número de vehículos utilizados y (dado un número de vehículos) minimizar el total de la distancia (y en algunas ocasiones) el tiempo recorrido. Para este tipo de problemas es común en empresas donde no tienen flota propia y tercerizan el servicio de transporte, o en caso que la empresa no pueda cumplir con la demanda, y deba utilizar un proveedor de tercer parte (3PL). Algunos ejemplos de industrias con estas características corresponden a: entrega de paquetes a domicilio, reparto de periódicos, rutas escolares, ruteo de materiales para minas o envío de materiales peligrosos (Braekers, Ramaekers, & Van Nieuwenhuyes, 2016).

### ***VRP Dinámico (DVRP)***

Los avances en tecnología de tiempo real como por ejemplo: *Sistemas de Transformación Inteligente (ITS)*, *Sistemas de Gestión Avanzada de Flotas (AFMS)* y *del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)*, ha hecho que el interés en los VRP Dinámicos sea un área de investigación de moda en tiempos recientes. El corazón de estos sistemas se basa en la constante actualización y retroalimentación de los datos de entrada y de salida, lo que permite que las rutas de los vehículos se adapten dinámicamente. El ajuste dinámico ocurre principalmente cuando los clientes realizan nuevas solicitudes, no se hace ningún supuesto sobre los pedidos futuros, sin embargo, es común usar información estocástica y pronósticos, las rutas se ajustan dinámicamente ya que la demanda es únicamente conocida cuando se llega donde el cliente, se considera que los tiempos de viaje son también dinámicos (Braekers, Ramaekers, & Van Nieuwenhuyes, 2016).

### ***Time Dependent – VRP (TDVRP)***

Por último, está un modelo VRP que toma en cuenta los tiempos de desplazamiento y la congestión que pueda existir durante los viajes. En la mayoría de VRP se asume que los tiempos de viaje entre depósitos y clientes son constantes y determinísticos, o igual a la distancia entre los clientes. En el mundo real, prevalecen tiempos de viaje variable, esto principalmente por la congestión vehicular. El *TDVRP* asume que los tiempos de viaje son determinísticos pero no constantes, estos tiempos están determinados en función de la hora actual (e.g. los tiempos de recorrido varían según las horas pico y valle). A la luz de este modelo, es posible calcular el efecto que tiene la congestión sobre la duración total de la ruta, para así determinar el número de vehículos y el costo de transporte (Braekers, Ramaekers, & Van Nieuwenhuyes, 2016).

### **Colaboración entre agentes de la cadena de suministro (proveedor – cliente)**

En la literatura se ha tratado el modelo de colaboración entre clientes y proveedores, el primer modelo que trata este tema es el VMI (VENDOR MANAGEMENT INVENTORY), donde el vendedor asume responsabilidad de la gestión de inventario de sus clientes, así se decide sobre variables como cantidad y tiempo de envíos, para no permitir desabastecimiento. La implementación del sistema

### ***Definición del Problema y Notación Básica***

Se define  $G = (V, A)$  como el grafo completo, donde  $V = \{0, \dots, n\}$  es el conjunto de nodos, y  $A$  es el conjunto de arcos. Los nodos  $i = 1, \dots, n$  corresponde a los clientes, donde el nodo 0 corresponde al centro de distribución. Un costo no negativo,  $c_{ij}$ , es asociado con cada arco  $(i, j)$ .  $K$  es el conjunto de vehículos disponibles con capacidad  $C$ . La formulación del VRP se describe a continuación:

(1)

$$\text{Min} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} X_{ij}$$

La ecuación (1) corresponde a la función objetivo, minimizar el costo total de visitar todos los puntos una vez. Existe un conjunto de arcos  $A$  que corresponde a la solución óptima, en este caso  $X$  toma el valor de 1 si el arco que va de  $i$  a  $j$  pertenece al conjunto de soluciones óptimas, 0 de lo contrario. Se impone la restricción que  $X_{ij}$  es una variable booleana o binaria.

El problema además está sujeto a las siguientes restricciones:

(2)

$$\sum_{i \in V} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\}$$

(3)

$$\sum_{j \in V} X_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\}$$

(4)

$$\sum_{j \in V} X_{oj} = K$$

(5)

$$\sum_{i \in V} X_{io} = K$$

Las restricciones (2) y (3) garantizan que todos los nodos sean visitados por lo menos una (1) vez. Así mismo, las restricciones (4) y (5) garantizan que las rutas empiecen desde el centro de distribución y terminen ahí mismo (Barreto Delgado, 2016). Existen otras restricciones en cuanto a la capacidad de cada vehículo, que a su vez determinan el circuito logístico a seguir y la cantidad de vehículos que se deben tener en cuenta.

### **ROUTE XL**

La herramienta escogida para la solución del problema corresponde a la versión libre del software ROUTE XL (<https://www.routexl.nl/>). Este software es un planificador de ruta para múltiples destinos, permite variar capacidad de los recursos, tipo de recurso, ventanas de tiempo por parada, tiempos de entrega por parada, entre otros. Para su versión gratuita permite hacer la planificación de hasta 20 puntos, lo que permite que sea utilizada en esta investigación. Este programa es desarrollado por ManagementScience.nl, consultora de gestión de Ciencia e Investigación de Operaciones en Holanda (Management Science, 2018).

### **III. Análisis de Datos**

Una importante empresa del sector de alimentos requiere realizar entregas en sus restaurantes para las ciudades de Cali, Pereira y Medellín. Según el cliente, la demanda de los puntos es relativamente constante. El Centro de Distribución está ubicado en Bogotá y desde allí debe ser enviada la mercancía. Una de las restricciones que impone el cliente es que los puntos de destino de Cali y Pereira sean enviados en el mismo vehículo, es decir que saliendo desde Bogotá, se debe entregar primero los puntos de Pereira, para al día siguiente entregar los puntos de Cali.

En la información suministrada para el desarrollo de la investigación, el tamaño de pedido de los puntos es constante y no debe ser tenido en cuenta, es decir que la capacidad del vehículo es suficiente para entregar todos los puntos de las ciudades destino (e.g. solo enviar un vehículo Bogotá – Pereira – Cali, y solo enviar un vehículo Bogotá – Medellín). Existen restricciones de tiempo, los restaurantes únicamente reciben desde las 6:00 a.m. hasta

las 9:00 a.m., esto se tendrá en cuenta al momento de enunciar la solución propuesta. Otro supuesto importante es que los tiempos de parada no toman más de 5 minutos por parada.

Estos son los puntos para distribución en Cali:

<b>Puntos de Distribución</b>	<b>Ciudad</b>
Barra Cali Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón	Cali
Barra Cali Aeropuerto Muelle Internacional Alfonso Bonilla Aragón	Cali
Barra Cali Éxito Chipichape	Cali
Barra Cali Éxito La Flora	Cali
Barra Cali Éxito San Fernando	Cali
Barra Cali Éxito Unicentro	Cali
Barra Cali Llanogrande	Cali
Barra Cali Plaza Caicedo	Cali
Barra Cali Pacific Mall	Cali
Barra Cali Clínica de Occidente	Cali

*Ilustración 1. Puntos de distribución en Cali. Fuente: desarrollo propio*

Estos son los puntos de distribución para Pereira:

<b>Puntos de Distribución</b>	<b>Ciudad</b>
Barra Pereira Aeropuerto Matecaña	Pereira
Barra Solo café Pereira	Pereira
Barra Pereira C.C. Bolívar Plaza	Pereira
Barra Pereira Fiscalia	Pereira
Barra Pereira Éxito	Pereira

*Ilustración 2. Puntos de distribución en Pereira. Fuente: desarrollo propio*

Y los puntos de distribución para Medellín:

Puntos de Distribución	Ciudad
Barra Medellín C.C. Monterrey	Medellín
Barra Medellín C.C. Unicentro Terraza	Medellín
Barra Medellín Éxito 33	Medellín
Barra Medellín Éxito Unicentro	Medellín
Barra Medellín Viva Laureles	Medellín
Barra Medellín Pomona Laureles	Medellín
Barra Medellín Parque Laureles	Medellín
Barra Medellín Hotel Dorado 70	Medellín
Barra Medellín Éxito Bello	Medellín
Barra Medellín Ruta N	Medellín
Barra Medellín Almacentro	Medellín
Barra Medellín Éxito Colombia	Medellín
Barra Medellín Éxito Molinos	Medellín
Barra Medellín Homecenter San Juan	Medellín
Barra Medellín C.C. Obelisco	Medellín
Barra Medellín CES Poblado	Medellín
Barra Medellín CES Mayorca	Medellín

Ilustración 3. Puntos de distribución en Medellín. Fuente: desarrollo propio

Con la información suministrada se procede a ubicar los puntos en el mapa, para así calcular la latitud y la longitud de cada punto, información necesaria para el software.

En la siguiente ilustración el software indica que primero deben ser entregados los puntos de la ciudad de Pereira, siguiendo luego para los puntos de Cali.

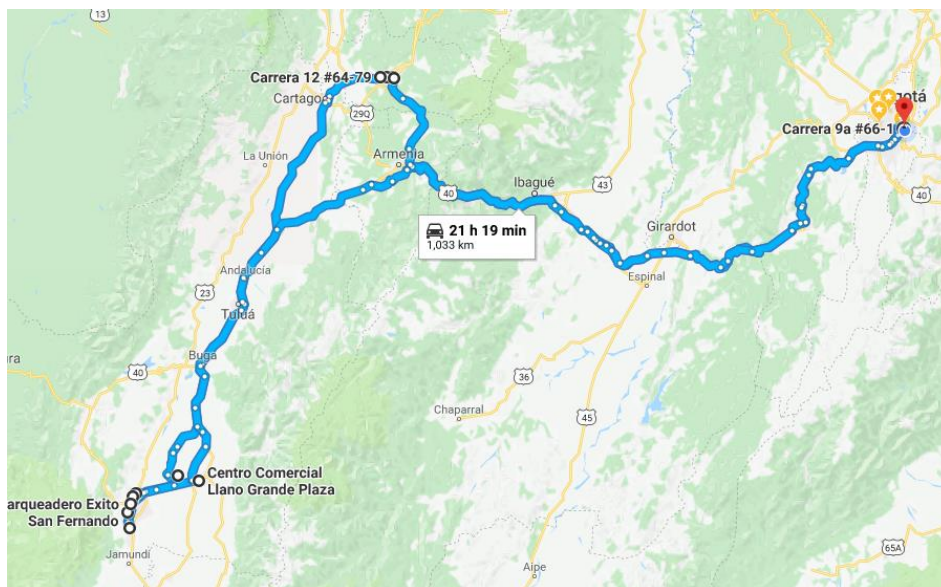


Ilustración 4. Solución propuesta para los entregas en Pereira y Cali. Fuente: <https://www.routexl.nl/#> con visualización en Google Maps

En la tabla 1 se muestra la programación que debe hacerse para cumplir la ruta, como se mencionó anteriormente, saliendo desde el CD de Bogotá la primera entrega debe realizarse en el punto Centro Comercial Bolívar plaza, el último punto de entrega en Pereira es el Aeropuerto Internacional de Matecaña.



Tabla 1. Programación propuesta para distribución en Pereira y Cali. Fuente: desarrollo propio con resultados del software Route XL

Número de parada	Nombre punto	Ciudad	Distancia (km)	Tiempo viaje	Tiempo parada	Hora llegada
0	CD Bogotá	Bogotá	N/a	N/a		00:00
1	Solo Centro Comercial Bolivar Plaza	Pereira	317.8	08:37	00:05	06:00
2	Solo Café Pereira	Pereira	0	00:05	00:05	06:10
3	Éxito Pereira	Pereira	0.6	00:06	00:05	06:21
4	Barra Pereira Fiscalia	Pereira	3.3	00:09	00:05	06:35
5	Aeropuerto Matecaña PER	Pereira	3.2	00:08	00:05	06:48
6	Muelle Internacional Aeropuerto Internacional Bonilla Aragón	Cali	189.4	02:52	00:05	06:00
7	Aeropuerto Internacional Alfonso Bonilla Aragón	Cali	0.1	00:07	00:05	06:12
8	Barra Cali Exito La Flora	Cali	18.2	00:22	00:05	06:39
9	Punto Barra Exito Chipichape	Cali	2.5	00:10	00:05	06:54
10	Barra Cali Pacific Mall	Cali	0.7	00:07	00:05	07:06
11	Barra Cali Clínica de Occidente	Cali	2.2	00:08	00:05	07:19
12	Barra Cali Plaza de Caicedo	Cali	2.1	00:09	00:05	07:33
13	Barra Cali Éxito Unicentro	Cali	9.1	00:15	00:05	07:53
14	Barra Cali Exito San Fernando	Cali	7.5	00:13	00:05	08:11
15	Barra Cali Llanogrande	Cali	31.1	00:33	00:05	08:49
16	CD Bogotá	Cali	441.8	10:10		19:04

Debido a la extensión de la ruta, además teniendo en cuenta las regulaciones vigentes, durante el recorrido desde el CD Bogotá hasta Pereira hay que considerar el tiempo descanso del conductor (mínimo 6 horas), además de esto, debe tomarse en cuenta los imprevistos que pueden producirse en la vía Bogotá – Pereira la cual es proclive a cierres por condiciones climáticas y accidentes viales, se toma como tiempo de previsión otras 3 horas. Para cumplir con el horario de entrega a la primera entrega se debe iniciar el recorrido con al menos 18 horas de antelación. El recorrido debe iniciar a más tardar a las 12:00 horas del día anterior a la primera entrega.

Debido a la restricción de entregas de los puntos, en donde únicamente reciben hasta las 9:00 am, el conductor una vez termina con las entregas de Pereira debe desplazarse a Cali y esperar al día siguiente para iniciar con

entrega de los puntos, iniciando con el punto Muelle Internacional Aeropuerto Internacional Bonilla Aragón, finalizando con el punto Centro Comercial Llanogrande.

En la tabla 2 se muestra un resumen de los principales recorridos que debe realizar la ruta. El tiempo total estimado de ruta es de 25.3 horas, con una distancia total recorrida de 1,029.2 km.

*Tabla 2. Resumen de recorridos ruta de distribución Cali y Pereira. Fuente: desarrollo propio*

<b>Recorrido</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Tiempo</b>
CD Bogotá a Pereira	317.8	08:37
Distribución en Pereira	7.1	00:48
Pereira a Cali	189	02:52
Distribución en Cali	73.5	02:49
Cali a CD Bogotá	441.8	10:10
<b>Total</b>	<b>1029.2</b>	<b>25.27</b>

El resultado indica que la distribución debe hacerse primero en el punto Solo Café de la ciudad de Pereira, finalizando con el punto Aeropuerto Matecaña de esta misma ciudad, a pesar que según la simulación la ruta termina en Pereira sobre las 6:48 am, ese día no es posible realizar más entregas debido a que las tiendas tienen la restricción de la ventana de tiempo de recibo de 6:00 a 9:00 am. Al día siguiente, la primera entrega se realiza en el punto Muelle Internacional Aeropuerto Internacional Bonilla Aragón a las 6:00 am, el último punto ese día es Barra Cali Llanogrande con hora de llegada de 8:49 am.

Esta ruta tiene una distancia total de 1.029.2 km, incluyendo los recorridos entre el CD de Bogotá a Pereira y desde Cali al CD de Bogotá. El tiempo total a utilizar es de 25.27 horas, incluyendo los tiempos de desplazamiento desde el CD de Bogotá, este tiempo no tiene en cuenta los tiempos de descanso del conductor.

En la ilustración 6 el software muestra cómo debe hacerse la distribución de los puntos de Medellín. Se inicia con el punto Éxito Bello (municipio aledaño a Medellín, pero para efectos prácticos se considera que es Medellín). El último punto de entrega en Medellín es el punto Éxito Colombia.

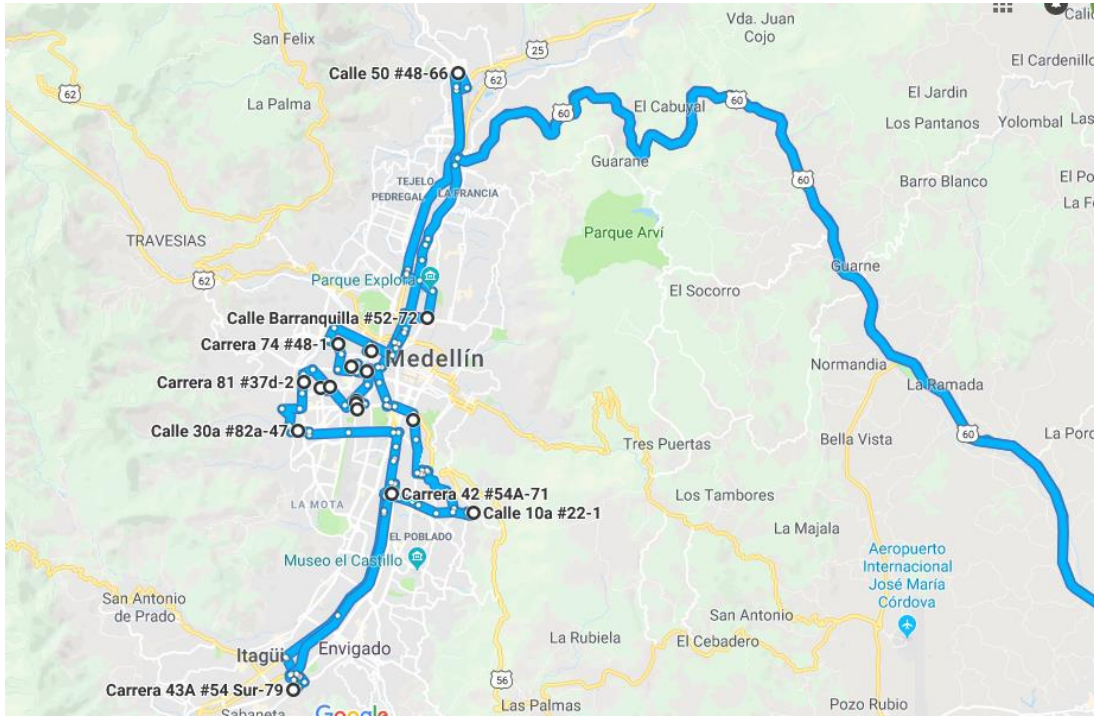


Ilustración 5. Solución propuesta para los entregas en Medellín. Fuente: <https://www.routexl.nl/#> con visualización en Google Maps

En la tabla 3 se especifican la secuencia de distribución de los puntos en Medellín.

Tabla 3. Programación propuesta para distribución en Medellín. Fuente: desarrollo propio con resultados del software Route XL

Número de Parada	Nombre punto	Distancia (Km)	Tiempo de viaje	Tiempo parada	Hora Llegada
0	CD Bogotá	N/a	N/a		00:00
1	Exito Bello	414.4	06:13	00:05	06:00
2	Ruta N	9.2	00:14	00:05	06:19
3	Centro Comercial Almacentro	4.2	00:09	00:05	06:33
4	CES Poblado	5	00:11	00:05	06:49
5	C.C. Monterrey	2.9	00:08	00:05	07:02
6	CES MAYORCA	7.9	00:13	00:05	07:20
7	Éxito Molinos	10.8	00:17	00:05	07:42
8	Viva Laureles Centro Comercial	2.3	00:08	00:05	07:55
9	Parque Laureles	1.7	00:07	00:05	08:07
10	Pomona Laureles	0.5	00:06	00:05	08:18
11	Éxito La 33	1.4	00:06	00:05	08:29
12	Éxito Unicentro Medellín	0.6	00:06	00:05	08:40
13	Centro Comercial Unicentro	0.3	00:05	00:05	08:50
14	Homecenter - San Juan	1.5	00:08	00:05	09:00
15	Hotel Dorado la 70	0.8	00:06	00:05	09:11
16	Centro Comercial Obelisco	1.7	00:07	00:05	09:23
17	Éxito Colombia	2.6	00:08	00:05	09:36
18	CD Bogotá	417.4	06:17		12:58

Para el recorrido desde el CD Bogotá hasta Medellín se debe tomar en cuenta nuevamente el descanso del conductor (mínimo 6 horas) y los imprevistos en la vía, históricamente esta vía no es muy proclive a cierres por lo que se toman 2 horas de tiempo de imprevistos. Para cumplir con el horario de entrega de la primera entrega, se debe iniciar el recorrido con al menos 16 horas de antelación, el recorrido debe iniciar a más tardar a las 14:00 horas del día anterior a la primera entrega.

Debido a la restricción de entregas de los puntos, en donde únicamente reciben hasta las 9:00 am, el conductor una vez termina con la entrega del Centro Comercial Unicentro debe guardar el vehículo e iniciar el recorrido al día siguiente con el punto Parque Laureles.

En la tabla 4 se muestra un resumen de los principales recorridos que debe realizar la ruta en Medellín. El tiempo total estimado de la ruta es de 20 horas aproximadamente, con una distancia total recorrida de 910.2 km. Estos datos no tienen en cuenta los tiempos de descanso del conductor ni los imprevistos que se puedan ocasionar durante la ruta.

*Tabla 4. Resumen de recorridos ruta de distribución Medellín. Fuente: desarrollo propio*

<b>Recorrido</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Tiempo</b>
CD Bogotá a Medellín	415	06:13
Disitrbución en Medellín	09:36	03:39
Medellín a CD Bogotá	441.8	10:10
<b>Total</b>	<b>910.2</b>	<b>20:02</b>

#### **IV. CONCLUSIONES**

El ruteo de vehículos es un área de constante evolución e interés por parte de los investigadores. Así mismo, las empresas invierten importantes recursos en software y personal capacitado para tratar de disminuir sus costos logísticos. Por medio de estas herramientas se permite diseñar rutas de distribución eficientes, a través de algoritmos o heurísticas. En el presente se presenta una solución a un problema real, dentro de los procesos de mejora continua y reducción de costes, es necesario evaluar esta solución y proponer nuevas alternativas para satisfacer los requerimientos de los clientes y disminuir los costos logísticos de los mismos, dentro de la sección de recomendaciones a futuras investigaciones se ofrecen propuestas que pueden ser consideradas por el cliente para hacer una distribución con costos más eficientes.

Existen limitaciones en la vida real como: regulaciones viales, regulaciones laborales, ventanas de tiempo, entre otras que aumentan la complejidad de la solución de los problemas planteados. En tiempos recientes la tecnología ha hecho una disrupción importante en el campo de logística de última milla (*last mile logistics*), hoy en día el estado del arte de este tema trata temas que hasta hace unos años parecían sacados de libros de ciencia ficción, como entregas automatizadas a través de drones y/o robots. El avance de la era digital y la tecnología está haciendo cambios importantes y revolucionarios dentro del área de la logística también.

#### **V. LIMITACIONES DEL ESTUDIO**

Para el desarrollo de esta investigación se trató un problema relativamente sencillo, ya que los puntos a los que había que realizar la distribución eran menos de 40. Las herramientas gratuitas de software tienen limitaciones en cuanto al número de puntos para analizar, en este caso Route XL<sup>®</sup> no permite en su versión gratuita analizar más

de 20 puntos por cada ruta de distribución. En problemas más complejos (analizando un número mayor de puntos) se deben desarrollar herramientas propias o pagar para poder utilizar las versiones completas de las herramientas de software existentes.

Una de las principales limitaciones provenía de las restricciones impuestas por el cliente en donde habían dos ciudades que por su cercanía debían entregarse en un solo vehículo, así mismo, el tema de las ventanas de tiempo de las tiendas hizo que el vehículo no pudiera terminar la ruta de distribución el mismo día, sino que tuviera que quedarse un día adicional para poder cumplir con las entregas.

## VI. RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

Para investigaciones futuras es posible solicitar al cliente que se amplíe la ventana de recibo o la ventana de tiempo para que únicamente se utilice un día en las descargas para así minimizar los costos.

Otra de las posibles soluciones que se puede proponer es consolidar la mercancía para así utilizar la capacidad total del vehículo, o en donde las restricciones vehiculares lo permitan, utilizar un vehículo de mayor capacidad para disminuir el costo logística por caja.

## Bibliografía

Ballou, R. H. (2004). *Logística Administración de la Cadena de Suministro*. México: Pearson Educación.

Barreto D., I. (2016). *Diseño de un Modelo de Ruteo de Vehículos - VRP para la Distribución de Llantas Aplicando Programación Dinámica*. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada.

Barreto Delgado, I. (2016). *Diseño de un Modelo de Ruteo de Vehículos - VRP para la Distribución de Llantas Aplicando Programación Dinámica*. Bogotá D.C.: UMNG.

Braekers, K., Ramaekers, K., & Van Nieuwenhuyes, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, 300-313.

Golden, B., S., R., & Wasil, E. (2008). *The Vehicle Routing Problem*. College Park, MD: Springer.

Goodman, R. (1 de December de 2005). *Global Logistics & Supply Chains Strategies*. Obtenido de Whatever You Call It, Just Don't Think of Last-Mile Logistics, Last: [www.supplychainbrain.com/content/headline-news/singlearticle/article/whatever-you-call-it-just-dont-think-of-last-mile-logistics-last](http://www.supplychainbrain.com/content/headline-news/singlearticle/article/whatever-you-call-it-just-dont-think-of-last-mile-logistics-last)

Management Science. (20 de Junio de 2018). *Route XL*. Obtenido de Mejor Ruta con Paradas: <https://www.routexl.nl/blog/over/?lang=es>

Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia: SIAM.

Velásquez, C., Y. L. (2015). *Análisis de las Características y Aplicaciones de los Sistemas de Ruteo de Vehículos*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.