



“Diseño E Implementación De Una Heurística Para el Problema De Ruteo Vehicular Con Recolección y Entrega De Mercadería (Vrppd).”

Gisella Cepeda¹, Maritza San Lucas², M.Sc. Erwin Delgado³
Instituto de Ciencias Matemáticas
Escuela Superior Politécnica del litoral
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil
gismcepe@espol.edu.ec¹, makan@espol.edu.ec², edelgado@espol.edu.ec³

Resumen

Este documento presenta un modelo para resolver el problema de enrutamiento de vehículos con recolección y entrega de mercadería (VRPPD) simultáneamente con flota homogénea. Esta fase está compuesta de procedimientos heurísticos donde se construye una solución inicial que es mejorada mediante el 2-Opt. El procedimiento tiene como función objetivo minimizar el costo total de las rutas sin olvidar que debemos mantener un buen servicio al cliente. El VRPPD, consiste en encontrar una solución óptima donde se realice la entrega y recolección de productos simultáneamente recorriendo todos los clientes de una ruta que están geográficamente dispersos, comenzando en un punto dado (Depósito) y terminando en el mismo, con la finalidad de minimizar la distancia recorrida. La gran cantidad de aplicaciones en el ámbito logístico hacen que este problema no sólo tenga interés teórico, sino también, una gran importancia práctica, perteneciendo a la clase de problemas NP-Duro por ser derivado del VRP. Por ser un problema de Optimización Combinatoria, el VRPPD puede ser modelado mediante formulaciones de programación lineal entera o entera mixta y el algoritmo del vecino más cercano nos puede ayudar de una forma más efectiva a encontrar una buena solución para la empresa a estudiarse.

Palabras Claves: *Enrutamiento, Logístico, Optimización.*

Abstract

This paper presents a model for solving the Vehicle Routing problem with pickup and delivery of products simultaneously (VRPPD) with homogeneous fleet. This phase consists of heuristics procedures which constructs an initial solution which is improved by 2-Opt. The procedure has the objective function to minimize the total cost of the routes without and product collection simultaneously through all the clients of a route that are geographically dispersed, starting at a giving point (Deposit) and ending at the same, in order to minimize the tour distance. The great number of application in logistics area make this problem not only have theoretical interest, but also of great practical importance, belonging to the class of NP-hard problems to be derived from the VRP. Being a combinatorial optimization problem, the VRPPD can be modeled using integer linear programming formulations or mixed integer and nearest neighbor algorithm can help us in a more effective way to find a good solution for the company to be studied.

Keywords: *Routing, Logistics, Optimization.*

1. Introducción

En este proyecto se ha aplicado varias técnicas utilizadas en la Optimización Combinatoria para determinar una solución factible a un problema de entrega y recolección de productos, manteniendo la satisfacción de los clientes. Con las técnicas empleadas se puede determinar cuáles son las mejores rutas a seguir, abasteciendo a cada uno de los clientes. Por lo que para la resolución de nuestro problema hemos aplicado la heurística del vecino más cercano considerando la capacidad de los vehículos, la demanda a entregar y recoger de cada uno de los clientes y luego la solución fue mejorada por la heurística del 2-Opt.

2. Definición del problema

En la actualidad la empresa cuenta con una flota homogénea de 5 buses con capacidad de 600 cajas, para cubrir la demanda tanto a entregar como a recoger de la zona norte de la ciudad de Guayaquil, cabe indicar que los buses son tercerizados, por lo que la empresa sólo se encarga del diseño de las rutas. Su planta principal radica al noroeste de la ciudad y abastece a 300 clientes en la parte norte, para presentar nuestro programa sólo utilizaremos 50 de ellos, debido a que sólo se analizó un día en específico donde estos clientes eran los que tenían una mayor demanda.

Cabe recalcar que los datos con respecto a la demanda a entregar y recoger fueron brindados por la empresa.

Mediante una entrevista realizada al Gerente de Supply Chain de la empresa se pudo notar los problemas por los que está pasando la compañía, siendo éstos los siguientes:

- ✚ Los vehículos enviados a cubrir determinados clientes tanto en la entrega como en la recolección, llegan al centro de distribución sin haber recogido la demanda de ciertos clientes por la falta de un análisis antes de su envío.
- ✚ Hay ocasiones donde los transportistas visitan los clientes según su criterio, debido a que no cuentan con una planificación previa de las rutas.
- ✚ Sus costos de transportación son considerablemente elevados.

Es decir, que la empresa no cuenta con un programa donde podamos prever estos inconvenientes y tener satisfechos a los clientes sin la necesidad que los costos por transportación se eleven.

3. Justificación del Problema

En la actualidad la mayoría de las empresas en Ecuador se dedican a la entrega y recolección de productos por separado, es por aquello que hemos visto la necesidad de investigar y plantear una heurística donde se haga este proceso en conjunto. Enfocándonos en la ciudad de Guayaquil para realizar nuestro estudio. Dado que los problemas de optimización tienen un fuerte impacto económico en el mundo empresarial, realizamos el estudio y análisis de este tipo de problemas teniendo como uno de nuestros principales objetivos minimizar los costos de las operaciones logísticas, pues mejorar el ruteo de vehículos junto una buena planificación representaría grandes ahorros en la economía de las empresas. Mediante la aplicación de la heurística del vecino más cercano se desarrolló un conjunto de rutas que cumplen con el supuesto que podemos entregar y recoger a la vez, además de tener un menor recorrido.

3.1. Descripción de la implementación de la heurística del Vecino más Cercano

Se podría considerar al Vecino más Cercano dentro de la gama de algoritmos heurísticos como el algoritmo más simple y fácil de construir, pues nos permite encontrar la mínima distancia desde el depósito hacia cada uno de los clientes y entre clientes teniendo en consideración las restricciones de capacidad de los vehículos y de las demandas tanto a entregar como a recoger de cada uno de los clientes.

Los pasos para la programación del vecino más cercano aplicados al VRPPD son:

Paso 1: Se calcula la mínima distancia entre el depósito y los clientes i , el cliente que nos da la mínima distancia es seleccionado y guardado en una lista denominada Ruta Parcial y eliminada de los clientes que aún faltan por visitar.

Paso 2: Se incorpora la restricción de capacidad y al cliente que fue seleccionado en el paso 1 se evalúa la demanda a entregar y recoger. Si la capacidad del vehículo es superada se da por terminada dicha ruta y el vehículo vuelve al depósito.

Paso 3: Una vez finalizada la ruta, la capacidad y la lista de clientes se actualiza e incorpora el último cliente.

Paso 4: Para cada una de las rutas terminadas denominadas Rutas Finales se muestra la secuencia a seguir y se calcula el valor de la ruta.

Paso 5: Se repiten los pasos hasta que no haya clientes por visitar.

3.2. Descripción de la implementación del 2-Opt

Este método a aplicar es de gran interés en la práctica, pues previa una solución inicial encuentra soluciones aproximadas a las óptimas.

Debemos tomar en consideración que las aristas no deben ser adyacentes al momento de intercambiarlas ya que esto provoca un desenlace de la ruta y solo es aplicable a grafos simétricos.

Formalmente esta consiste en:

Dado un grafo completo y ponderado, un conjunto solución factible de una instancia G contiene todos los circuitos en G , el costo de un circuito de G es la suma de todas las distancias recorridas de las aristas. Donde tratamos de encontrar un circuito G con un costo mínimo. Sea T un circuito de G , el conjunto de vecinos de T contiene todos los circuitos T' , que pueden ser obtenidos al remover dos arista de T e insertar dos nuevas arista en T [11].

4. Planteamiento de la solución

Se propone a la empresa realizar la entrega y recolección de sus productos simultáneamente mediante la heurística antes mencionada, dicha heurística nos arrojó 4 rutas que luego fueron mejoradas por la heurística 2 Opt. Obteniendo un ahorro de 380,57 km con respecto a la situación actual de la empresa.

4.1. Aplicación de la heurística del Vecino más cercano

La programación de la heurística del vecino más cercano se realizó en el software Mathematica 8, siendo una herramienta de cómputo que nos permite realizar cualquier tipo de cálculo algebraico o numérico, además se puede generar gráficos y análisis.

Una vez obtenidos todos los datos se procede a programar, obteniendo la generación de cuatro rutas y una distancia total recorrida de 280,39

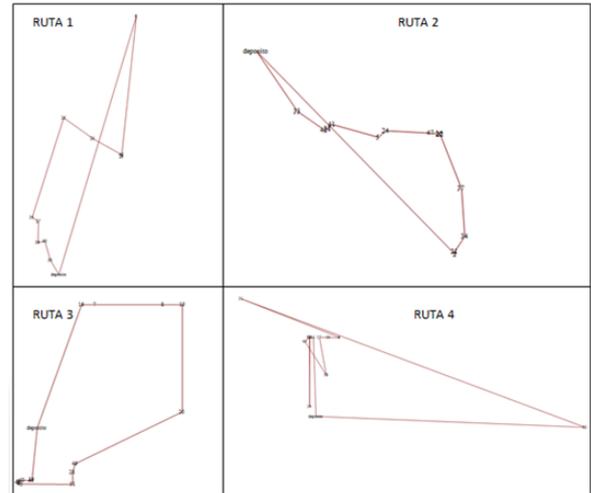


Figura 4.1 Rutas factibles generadas por el VCM

La figura 4.1 nos muestra las 4 rutas generadas por la heurística del Vecino más cercano.

RUTAS	SECUENCIA DE LA RUTA	COSTO (distancia en km)
1	{1,50,30,36,27,35,25,23,48,29,8,1}	21.11
2	{1,33,42,38,41,5,24,47,26,22,37,34,21,2,1}	32.14
3	{1,39,44,40,4,3,46,45,51,28,49,20,19,8,7,16,1}	69.95
4	{1,11,12,14,13,15,43,18,17,10,9,31,32,1}	157.19
TOTAL		280.39

Tabla 4.1 Rutas óptimas generadas por el VCM

Y por último, en la Tabla 4.1 se detallan los resultados obtenidos por la heurística.

4.2. Aplicación del algoritmo 2 Opt

Una vez obtenidos las soluciones factibles aplicaremos el 2-Opt para mejorar los resultados.

Los pasos para la programación de la heurística de mejora 2-opt son:

Paso 1: A la ruta ya generada por la heurística del vecino más cercano le realizamos un intercambio de clientes para analizar si se puede mejorar el costo, de ser posible la mejora nos quedamos con dicha ruta.

Paso 2: Se realiza el mismo esquema para el resto de rutas hasta mejorar cada una de ellas.

Paso 3: Si no encontramos una mejor solución al aplicar este algoritmo, la ruta ya generada por la heurística del vecino más cercano se mantiene.

Paso 4: Se repiten los pasos.

Teniendo como resultado las siguientes rutas que se muestran en la Figura 4.2. y el detalle de los costos que se muestran en la tabla 4.2

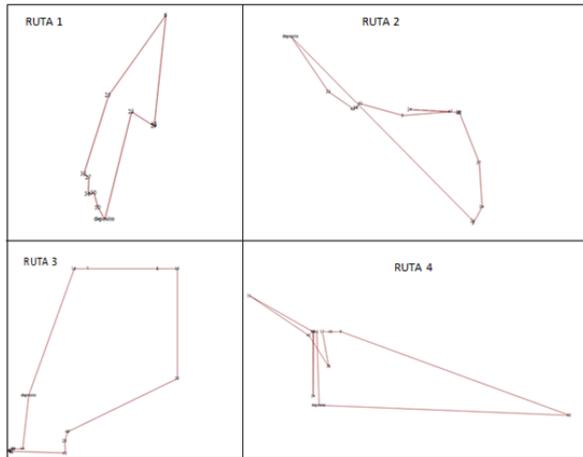


Figura 4.2 Rutas generadas por la heurística del 2-Opt

RUTAS	SECUENCIA DE LA RUTA	COSTO (VCM + 2 OPT) (distancia en km)
1	{1,50,30,36,27,35,25,6,48,29,23,1}	20,02
2	{1,33,42,38,41,5,47,24,26,22,37,34,2,21,1}	12,18
3	{1,39,44,40,4,3,45,46,51,28,49,20,19,8,7,16,1}	38,2
4	{1,11,12,14,13,15,31,43,18,17,10,9,32,1}	81,34
TOTAL		151,74

Tabla 4.2 Rutas mejoradas por el 2-opt

4.4. Resultados

La empresa a la cual se le realizó el estudio tiene establecido 5 rutas para la zona norte de la ciudad de Guayaquil teniendo como resultado una variación de la utilización de la capacidad de los vehículos entre un 80 y 90 % debido a la modalidad que ellos manejan al entregar primero y luego recoger lo cual causa un aumento en los costos totales, debido a:

- ✚ Mal manejo de los vehículos, ya que se desperdicia de un 10 a 20 % de su capacidad en cada ruta.
- ✚ Visita dos veces a un cliente, es decir que la distancia recorrida va ser mayor.

Pero con la implementación de la heurística hemos tenido un ahorro de 1 rutas y los costos se han son menores en comparación con la situación actual que se detalla a continuación:

RUTAS	COSTO (distancia en km)
1	51,5
2	74,15
3	149,4
4	164,8
5	92,46
TOTAL	532,31

Tabla 4.3. Costo de la situación actual

RUTAS	COSTO (distancia en km)
1	20,02
2	12,18
3	38,2
4	81,34
TOTAL	151,74

Tabla 4.4. Costo de la propuesta

Es decir que la propuesta de realizar el ruteo de vehículo con recolección y entrega de mercadería simultáneamente es factible. En la siguiente tabla se muestra la comparación.

	SITUACIÓN ACTUAL	PROPUESTA	AHORRO
COSTO (distancia en km)	532,31	151,74	380,57
VEHÍCULOS	5	4	1

Tabla 4.4. Comparación de los costos entre situación actual y propuesta.

5. Agradecimientos

Queremos expresar en esta ocasión nuestros más sinceros agradecimientos a aquellas personas que nos ayudaron y nos dieron su apoyo incondicional en la realización de este artículo, pues sin sus sabios consejos no estuviéramos culminando otra etapa de nuestras vidas, Además a nuestros familiares por cada uno de sus desvelos, compañía, paciencia y amor que nos han sabido brindar siempre.

6. Referencias



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



[1] **Heurísticas para el ruteo de vehículos**

[En línea], por Alfredo Olivera. Disponible en:
<http://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliotel>

[2] **Salazar Gonzales Juan José**

Programación Matemática, Ed. Díaz Santos S.A,
2001, página 378-379.

✚ El algoritmo de intercambio 2-Opt nos permitió obtener un ahorro en los costos de las rutas generadas previamente por la heurística del vecino más cercano de 380,57 km representándonos aproximadamente el 60%.

7. Conclusiones

- ✚ Este proyecto propone la resolución de la entrega y recolección simultáneamente, considerando cada una de las condiciones que nos proporcionó la empresa donde se realizó el estudio, se utilizó información real de la compañía y por los resultados obtenidos concluimos que la heurística propuesta es de gran utilidad y nos ayudará a disminuir los costos que era nuestro principal objetivo.
- ✚ Los objetivos propuestos al inicio para resolución del VRPPD han sido alcanzados al implementar dicha heurística donde nos disminuye la distancia total recorrida con la sistematización de las rutas, satisfaciendo al cliente. Hemos presentado los resultados realizando una comparación entre la situación actual de la empresa y los obtenidos por la heurística, especificando el ahorro que se obtuvo.
- ✚ La idea puntual en este trabajo es poder evidenciar los ahorros que podemos obtener realizando un VRPPD simultáneo, elaborando una serie de análisis desde un modelo lineal entero hasta la programación de una Heurística que nos permita la generación de rutas factibles.
- ✚ La situación actual que maneja la empresa deriva altos costos debido a la distancia que recorre cada vehículo, por lo que en este trabajo tratamos de reducir la distancia realizando una sola visita a cada cliente.
- ✚ Una vez obtenido los resultados finales para el problema de ruteo vehicular con recogida y entrega se muestra, que más que un ahorro en costos por distancia recorrida, tenemos una disminución en las rutas generadas y por ende de un vehículo.