

“Diseño de un Modelo matemático para resolver problemas de ruteo vehicular capacitado con ventanas de tiempo, con la aplicación del algoritmo de Clarke & Wright. Caso de estudio: Empresa de servicios de Courier de la ciudad de Guayaquil”

Rodrigo Alexander Ocaña Mayorga
Carlos Andrés Ramírez Basantes
Instituto de Ciencias Matemáticas
Escuela Superior Politécnica del Litoral(ESPOL)
Campus Gustavo Galindo Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
rodaloca@espol.edu.ec
caranram@espol.edu.ec

Guillermo Baquerizo
ESPOL
Ing.
gbaqueri@espol.edu.ec

Resumen

El problema de una empresa que se dedica a la prestación de servicios logísticos es la recolección de mercancías de sus clientes y transportarlas a la bodega para lo cual se utiliza un modelo empírico de trabajo logístico realizado por la empresa el cual no permite visualizar más allá de la simple operación diaria. Para esto, basado en un estudio se diseñara un modelo matemático el cual permita resolver el problema de ruteo vehicular presentado teniendo como objetivo la mejora continua en el servicio al cliente respetando las restricciones como ventanas de tiempo, demanda, capacidad de vehículos. Obteniendo como resultado final la creación de rutas las cuales abarquen la totalidad de los clientes a visitar con la mínima distancia posible a recorrer y disminuir el excesivo consumo de recursos de la empresa.

Palabras Claves: ruteo, modelo, restricción, heurística, nodo, coordenada, métrica Manhattan.

Abstract

The main problems of the logistic company are the collecting of customer's merchandises and the transportation to the store room. That's the reason they use an empiric model of logistic work which permit visualize more than a simple daily operations based in studies, we'll design a mathematic model that resolve vehicular paths problems presented and our objective would be to continue with a good service to our customers and respect the restrictions like window of time, requirements and vehicular capacity. As final result e create new paths which they embrace the entirety of the customers' demands with a minimum possible distance to continue and decrease the over high consume of resources in the company.

Keywords: routing, model, restriction, heuristic, node, coordinate, Manhattan metric

1. Introducción

La empresa realiza las siguientes actividades: recolección, transporte, distribución y entrega puerta a puerta, para efectos de estudio nos enfocaremos en la recolección ya que es aquí donde tienen el principal problema y se buscará generar soluciones factibles para la adaptación e implantación de ellas.

Para obtener una solución factible y aceptable implementaremos el uso de la heurística Clarke & Wright o también conocida como Método de Ahorros denominada así porque en su ejecución se van generando matrices de ahorro de distancias para de esta manera ir obteniendo mejores soluciones.

Actualmente el problema que se tratara es conocido como problema de ruteo vehicular o VRP (Vehicle Routing Problem), es uno de los problemas más complejos y diversos en la optimización combinatoria ya que no existe un modelo a seguir para poder determinar la solución óptima sino que se usa una heurística que genera una buena solución, la compara con la anterior y escoge la mejor.

2. Descripción del problema

2.1 Introducción

La jornada laboral empieza con un reporte del departamento de ruteo logístico especificando la flota disponible y apta para la recolección de mercancías. Al mismo tiempo el departamento de ruteo logístico analizará los viajes creados anteriormente y a los nuevos clientes reportados por el departamento de tele mercadeo se les asigna empíricamente a uno de esos viajes. Luego se asigna el transporte a cada ruta dependiendo de la capacidad de cada camión, del peso y del volumen de las mercancías a recoger.

Al finalizar el trabajo de recolección de mercancías de los clientes, cada camión debe regresar a la bodega principal de la empresa para entregarlas, continuando los procesos establecidos que son recepción, almacenaje y embalaje para posteriormente realizar la distribución.

2.2 Datos del problema

2.2.1 Coordenadas de los clientes. Las direcciones de los clientes serán usadas para obtener sus coordenadas (latitud y longitud) usando el programa Google Earth (tal como se muestra en la Figura 1). En la Tabla 1 se mostrará las coordenadas de 30 clientes.

2.2.2 Descripción de mercancías y ventanas de tiempo. Los clientes mencionan los detalles de la mercancía (peso y volumen) y el horario en el que se los pueda visitar en el momento de solicitar el servicio.

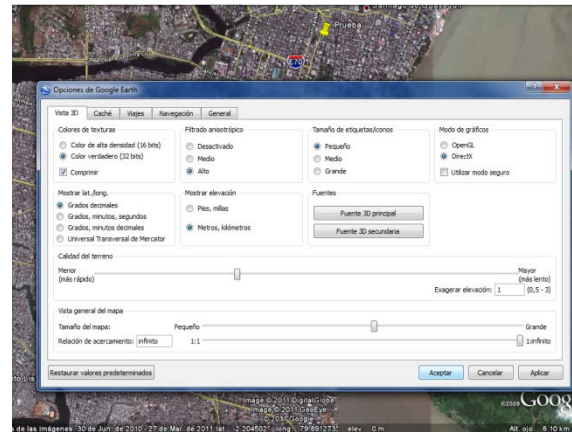


Figura 1. Parámetros Google Earth

Tabla 1. Clientes y sus coordenadas

CLIENTE	X	Y
1	-2,16216200	-79,89832900
2	-2,16216200	-79,89832900
3	-2,15757900	-79,89711600
4	-2,15757900	-79,89711600
5	-2,16216200	-79,89832900
6	-2,21795500	-79,88577600
7	-2,21795500	-79,88577600
8	-2,21795500	-79,88577600
9	-2,19329700	-79,88028300
10	-2,19329700	-79,88028300
11	-2,20794100	-79,88459600
12	-2,19921500	-79,88215000
13	-2,14483700	-79,91094600
14	-2,14543700	-79,91107500
15	-2,14359300	-79,91025900
16	-2,14869700	-79,89940200
17	-2,17236900	-79,90079600
18	-2,15681300	-79,89714900
19	-2,20301000	-79,88413500
20	-2,17149000	-79,90638600
21	-2,14893200	-79,89603300
22	-2,15045500	-79,89519600
23	-2,14477300	-79,89558200
24	-2,14989700	-79,89435900
25	-2,18830100	-79,88054000
26	-2,18669200	-79,87994000
27	-2,20517500	-79,88421000
28	-2,20376000	-79,88882300
29	-2,19822800	-79,89689100
30	-2,19747800	-79,89676200

2.2.3 Ruteo vehicular. Usando la Métrica de Manhattan sacaremos las distancias que hay entre empresa-clientes y la distancia que hay entre cliente-cliente. Usamos este método debido a que se asemeja al diseño vial de nuestra ciudad.

3. Características del problema

3.1 Problema de ruteo vehicular

El problema del enrutamiento de vehículos o VRP (Vehicle Routing Problem) se podría decir que es una evolución del problema del viajero o TSP (Travelling Salesman Problem). Este problema consiste en encontrar, a partir de un punto de origen en el mapa, la

ruta que minimiza la distancia necesaria para visitar un conjunto de nodos sólo una vez y, opcionalmente, volver al punto de origen.

3.2 Situación actual de la empresa

La empresa posee un total de 216 clientes que se ubican en la ciudad de Guayaquil.

Las rutas generadas por el departamento de ruteo logístico para visitar a todos los clientes consisten en:

- Todas las rutas parten de bodega a las 8h00 y retornarán a la bodega una vez terminen de visitar a todos los clientes.
- Cada ruta tendrá una secuencia la cual significara el orden en el cual se debe visitar a los clientes teniendo como observación que el número 1, indica el punto de inicio y llegada de los vehículos.

3.3 Nodo inicial y final

Nuestro punto de partida será la bodega principal de la empresa estudiada que está ubicada en Guayaquil, Av. Guillermo Cubillo y Dr. Emilio Romero Menéndez (Ver Figura 2). Sus coordenadas para estudio son [-2.140291, -79.915881].



Figura 2 Localización de nodo inicial y final

3.4 Nodos (Clientes)

Se considerará a un nodo como un cliente, al cual se visitará en ruta una sola vez para la recolección de su mercancía.

En la figura 3 se muestra un ejemplo de los clientes ubicados en el mapa de la ciudad de Guayaquil.

3.5 Flota vehicular

Actualmente se posee alrededor de 20 furgones disponibles para la jornada diaria. Los vehículos son de 5 toneladas cada uno y las dimensiones del camión son: altura 2.20 m, ancho 2.15 m, longitud 4.60 m.

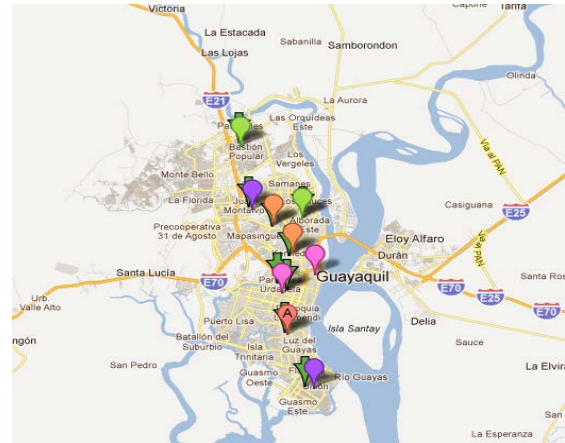


Figura 3 Vista panorámica de clientes parciales

4. Métodos para resolver un modelo matemático.

4.1 Heurísticas

Los métodos heurísticos son un conjunto de técnicas que solucionan multitud de problemas prácticos de alta complejidad que aparecen en diversos campos científicos. Por el tipo de problemas que pueden abordar, su mayor desarrollo se ha producido dentro del ámbito de la organización empresarial y en particular en la dirección de operaciones.

4.2 Tipos de heurísticas

Las heurísticas se clasifican según el modo en que buscan y construyen sus soluciones.

- Métodos constructivos
- Métodos de descomposición
- Métodos de reducción
- Manipulación del modelo
- Métodos de búsqueda por entornos

4.3 Heurística de Clarke & Wright

Es la heurística clásica más significativa para el VRP. Esta heurística es un procedimiento simple que realiza una exploración limitada del espacio de búsqueda y da una solución de calidad.

La usaremos como la base para la búsqueda de rutas factibles, con la finalidad de tener un costo mínimo total.

5. Solución

5.1 Parámetros del algoritmo

A continuación describiremos los parámetros utilizados en el algoritmo para poder adaptarlo con los requerimientos de la empresa.

La velocidad promedio utilizada es de 30 km/h debido a que la máxima velocidad permitida en el perímetro urbano es de 40 km/h.

La capacidad del camión considerando que es de 5TN será de 21.76 m3 teniendo como dimensiones altura 2.20 m, ancho 2.15 m, longitud 4.60 m.

El rendimiento de un camión de estas dimensiones es de 1 galón cada 20 kilómetros aproximadamente y tienen un tanque de combustible para 45 galones de diesel.

El tiempo promedio de servicio al cliente será de 5 minutos ya que este es el tiempo estimado por la empresa para que el estibador realice la recolección de la mercancía.

La obtención de la distancia entre clientes por medio de la métrica de Manhattan se la realiza usando la fórmula:

$$\text{Distancia (P1, P2)} = (|x1 - x2| + |y1 - y2|).$$

Donde (x1, y1) y (x2, y2) son las coordenadas del punto P1 y P2 respectivamente.

5.2 Resultados Obtenidos

Finalmente, se tendrá como resumen de la solución generada por C&W, la tabla mostrada a continuación:

Tabla 2 Descripción de las rutas generadas en C&W

RUTA	SECUENCIA DE VISITAS A CLIENTES	Kilómetros	Minutos	Metros Cúbicos	Kilogramos
		DISTANCIA	TIEMPO	VOLUMEN	PESO
1	{1,175,7,20,107,171,82,2,11,42,10,167,195,165,186,194,4,109,187,86,81,106,172,174,173,188,88,80,79,108,19,71,58,59,61,103,89,90,166,44,191,176,162,163,1}	89,21	393,42	20,13	534,25
2	{1,134,136,137,182,147,156,139,138,208,152,153,160,135,177,140,141,155,154,178,1}	123,83	342,67	12,54	183,8
3	{1,196,121,120,37,104,105,51,122,207,41,164,5,118,206,132,43,9,205,119,3,24,169,170,123,21,31,133,209,201,115,129,23,95,64,84,1}	97,71	370,43	20,72	430,6
4	{1,53,63,192,96,6,38,12,15,32,97,33,17,18,77,144,47,49,78,94,100,101,114,125,124,36,117,68,1}	52,06	239,12	15,3	377,1
5	{1,112,93,199,197,211,213,46,203,113,83,87,189,130,215,217,210,35,212,214,98,99,102,131,216,127,30,198,91,128,200,85,143,54,55,204,76,126,1}	66,76	318,53	20,71	456,25
6	{1,13,52,65,75,8,48,50,92,168,34,116,181,25,14,161,1}	28,23	131,46	11,21	184,75
7	{1,148,74,149,183,184,151,150,60,190,193,185,39,40,1}	26,89	118,77	11,43	163,6
8	{1,28,29,142,57,56,69,22,70,73,72,67,145,45,66,16,202,180,179,110,26,111,62,146,27,157,158,159,1}	50,74	236,48	20,88	309,8
DISTANCIA TOTAL RECORRIDA (KM)				535,43	
TIEMPO TOTAL RECORRIDO (MIN)				2150,88	

5.3 Comparación entre los resultados obtenidos y los resultados de la empresa

Para poder evidenciar las diferencias que existen entre la solución de la empresa y la del Clarke & Wright, se mostrara en la tabla 3, indicadores que permitirán decir que tan eficiente es la mejora.

Tabla 3 Diferencias entre solución actual y Clarke & Wright

DESCRIPCIÓN	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA [Km]	TIEMPO TOTAL DE RECORRIDO [Min]	PORCENTAJE PROMEDIO DE UTILIZACIÓN DEL CAMIÓN
SOLUCIÓN ACTUAL	853	2783	61%
CLARKE & WRIGHT	535	2151	76%
AHORRO	318	632	15%
PORCENTAJE DE AHORRO	37%	23%	25%

Como se puede observar existe un ahorro significativo en cuanto a distancia y tiempo total del recorrido y esto se debe al uso del algoritmo Clarke & Wright, por lo que tendrá un impacto en el área de costos ya que estos valores son generados para una jornada pero si los multiplicamos para cierto tiempo aumentarán y por ende nuestros costos disminuirán a mayor escala.

Además para efectos de estudio se realizo una prueba con instancias de una página web de ruteo vehicular. Teniendo como resultado las tablas que se mostraran a continuación:

Tabla 4 Diferencias entre Solución VRP web y CVRPTW con 100 clientes

	SOLOMON 25 CLIENTES INSTANCIA C109	
	DISTANCIA TOTAL	NÚMERO DE RUTAS
VRP WEB	191,3	3
CVRPTW	209,98	3
DIFERENCIA	18,68	0
%	10%	0%

Tabla 5 Diferencias entre Solución VRP web y CVRPTW con 100 clientes

	SOLOMON 50 CLIENTES INSTANCIA C109	
	DISTANCIA TOTAL	NÚMERO DE RUTAS
VRP WEB	362,4	5
CVRPTW	367,81	5
DIFERENCIA	5,41	0
%	1%	0%

Tabla 6 Diferencias entre Solución VRP web y CVRPTW con 100 clientes

	SOLOMON 100 CLIENTES INSTANCIA C109	
	DISTANCIA TOTAL	NÚMERO DE RUTAS
VRP WEB	827,3	10
CVRPTW	837,157	10
DIFERENCIA	9,857	0
%	1%	0%

La solución que presenta la web es 10% mejor para la primera instancia pero a medida aumentan la cantidad de clientes la diferencia entre ambos modelos se reduce a 1% para 50 cliente y 1% para 100 clientes. Es decir a mayor cantidad de cliente el modelo presentado tendrá mejores resultados.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

Aplicando esta heurística se obtendrá la optimización de recursos para la empresa, tales como: fuerza laboral, vehículos en libre utilización y suministros. Ya que ahora se utilizarán 8 vehículos con sus respectivos responsables de ruta, estibadores y suministros. Evitando tener 2 vehículos y personal extra en la operación.

El servicio al cliente tenderá a una mejora muy deseada por la empresa ya que los horarios establecidos por los clientes serán respetados y se obtendrá como resultado minimizar la cantidad de clientes no visitados y el porcentaje de pedidos no cumplidos.

Debido al uso de la heurística de Clarke & Wright, se ha podido establecer rutas con una distancia total menor a recorrer que las usadas por la empresa y se ha obtenido un ahorro del 21% en el tiempo total de recorrido.

6.2 Recomendaciones

La empresa necesita una reestructuración en la toma y manejo de los pedidos para que posterior a esto se pueda realizar una planificación de rutas con un modelo fijo.

Debería crear una base de datos con la descripción del cliente y la mercancía de este, además debería tener las coordenadas geográficas de los clientes.

Gestionar la adquisición del software realizado, enfocado en la optimización del ruteo vehicular para no seguir utilizando soluciones creadas empíricamente.

Finalmente, es recomendable realizar un análisis profundo de los diferentes procesos que se lleva en la empresa ya que gracias a la investigación de operaciones y avances en el campo de la optimización se podría alcanzar otros niveles de operatividad y marcar la diferencia.

7. Agradecimientos

Gracias a todas y cada una de las personas que participaron en la investigación realizada, ya que invirtieron su tiempo, conocimientos y experiencias para ayudar a completar nuestra tesis.

8. Referencias

- [1] Unidad De Desarrollo Tecnológico En Inteligencia Artificial. Definición VRP [en línea]. Disponible en <http://www.iiia.csic.es/udt/es/blog/jrodriguez/2009/vehicle-routing-problem-vrp-problema-del-enrutamiento-vehiculos>.
- [2] Optimización heurística y redes neuronales en dirección de operaciones e ingeniería. Autores: Adenso Díaz, Fred Glover, Hassan Ghaziri, J. L. Gonzáles, Manuel Laguna, Pablo Moscato, Fan Tseng.
- [3] Wikipedia. Coordenadas Geográficas [en línea]. http://es.wikipedia.org/wiki/Coordenadas_geogr%C3%A1ficas.
- [4] Introducción a la programación lineal. Autores: Ana Coló Herrera, Héctor Patrilli.
- [5] Meta heurísticas: conceptos y propiedades. Autor: José A. Moreno Pérez.
- [6] Computers and intractability: A guide to the theory of NP-Completeness. Autor: M. Garey.
- [7] Búsqueda Tabú aplicada a un problema NP-Completo. Autores: Oscar A. Chávez Bosquez, Guillermo de los Santos Torres, José Luis Gomez Ramos.
- [8] The VRP web. <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>