

# Heuristic model in allocation of heterogeneous vehicles with cargo compatibility restrictions

Wilmer Atoche, Magister<sup>1</sup>, Lizeth Medina, Ingeniero<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú,  
watoche@pucp.edu.pe, a20163731@pucp.edu.pe

*Abstract— This article aims to perform a comparative analysis between; perform an assignment and routing empirically and perform the same activity using a heuristic method based on VRP. The scenario proposes a central warehouse from where the merchandise is distributed to customers located in different districts of Lima. Merchandise can be classified as dangerous or non-dangerous merchandise for transportation. The solution to the problem is made with the use of two-stage heuristics: Assign first and Router later. The first stage seeks to make a clusterization by merchandise class and the second stage obtains an optimal route for each cluster. The main conclusion of the study is that the use of the model could determine savings of 27% in kilometers traveled. Keywords— vehicle routing, dangerous merchandise, heuristics*

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.113>  
ISBN: 978-0-9993443-1-6  
ISSN: 2414-6390

# Modelo heurístico en asignación de flota heterogénea y restricciones de compatibilidad de carga

Wilmer Atoche, Magister<sup>1</sup>, Lizeth Medina, Ingeniero<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, watoche@pucp.edu.pe, a20163731@pucp.edu.pe

*Abstract– This article aims to perform a comparative analysis between; perform an assignment and routing empirically and perform the same activity using a heuristic method based on VRP. The scenario proposes a central warehouse from where the merchandise is distributed to customers located in different districts of Lima. Merchandise can be classified as dangerous or non-dangerous merchandise for transportation. The solution to the problem is made with the use of two-stage heuristics: Assign first and Router later. The first stage seeks to make a clusterization by merchandise class and the second stage obtains an optimal route for each cluster. The main conclusion of the study is that the use of the model could determine savings of 27% in kilometers traveled.*

*Keywords: vehicle routing, dangerous merchandise, heuristics*

*Resumen- Este artículo tiene como objetivo realizar un análisis comparativo entre; realizar una asignación y un ruteo de manera empírica y realizar la misma actividad haciendo uso de un método heurístico basado en VRP. El escenario plantea un almacén central desde donde se distribuye la mercadería a los clientes ubicados en diferentes distritos de Lima. La mercadería puede ser clasificada como la mercadería peligrosa o no peligrosa para el transporte. La solución del problema se realiza con el uso de la heurística de dos fases: Asignar primero y Rutear después. La primera etapa busca realizar una clusterización por clase de mercadería y la segunda etapa obtiene una ruta óptima para cada cluster. La conclusión principal del estudio es que el uso del modelo podría determinar ahorros de 27% en kilómetros recorridos.*

*Palabras Claves: ruteo de vehículos, mercadería peligrosa, heurísticas*

## I. INTRODUCCIÓN

El problema de distribuir mercadería desde ciertos depósitos a usuarios finales juega un papel central en la gestión logística y su adecuada planificación puede significar considerables ahorros. En algunos sectores del mercado, el transporte significa un alto porcentaje de valor añadido a las mercancías. Por lo tanto, la utilización de los métodos automatizados para el transporte da lugar a menudo a los ahorros significativos que se extienden a partir de 5% hasta el 20% en los costes totales, según lo referido en [1].

En empresas comercializadoras, cuya actividad principal es la de distribución de mercadería es muy importante gestionar de manera adecuada los recursos utilizados; tales como el número

de vehículos, la distancia recorrida, entre otros. Mientras más eficiente sea la distribución menor será la cantidad de recursos utilizados y por ende mayor será el ahorro para las empresas.

Actualmente existen normativas nacionales, tales como la Ley N° 28256 (Ley que regula el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos) y el Reglamento Nacional de Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, en las cuales se establecen requisitos para el transporte de mercadería peligrosa, los cuales incrementan los costos de transporte.

El problema de la planificación de las rutas de transporte (VRP), permite diseñar un conjunto de rutas óptimas para atender a un conjunto de clientes con demandas conocidas, en la cual cada cliente recibe el servicio exactamente una vez, además, la mercadería es asignada a los distintos vehículos sin exceder su capacidad y tratando de minimizar los recursos utilizados, tales como, número de vehículos, distancia total recorrida, tiempo utilizado, entre otros.

El presente documento tiene como objetivo brindar un análisis comparativo referente a la cantidad de recursos utilizados al realizar una asignación de rutas de manera empírica frente a los recursos utilizados al realizar uso de un método heurístico de dos fases.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### A. Problema de Ruteo de Vehículos (VRP)

El problema ruteo de vehículos (VRP, *Vehicle Routing Problem*) es uno de los problemas de optimización combinatoria más importante y ampliamente estudiado en la logística de distribución y del transporte [2].

Genéricamente se define un VRP de la siguiente manera: Dado un conjunto de clientes por atender, depósitos dispersos geográficamente y una flota de vehículos de reparto se requiere determinar un conjunto de rutas de costo mínimo que comiencen y terminen en los depósitos, de modo que los vehículos de reparto visiten a los clientes por atender sólo una vez, tal como se muestra en las Figura N°1 y N°2 [3].

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.113>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

16<sup>th</sup> LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Innovation in Education and Inclusion”, 19-21 July 2018, Lima, Peru.

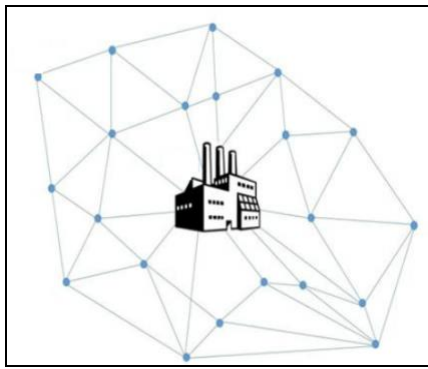


Fig. 1 Rutas posibles de distribución.

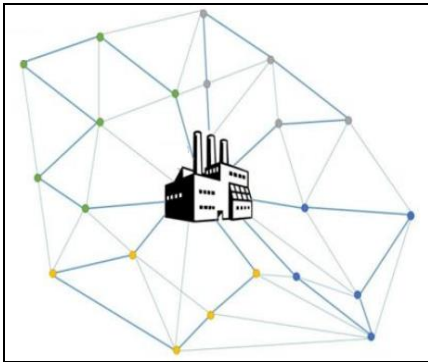


Fig. 2 Rutas posibles de distribución de costos mínimos

Los Problemas de Ruteo de Vehículos son Problemas de Optimización Combinatoria y pertenecen, en su mayoría, a la clase NP-Hard [4].

### B. Modelo Matemático

El problema de ruteo de vehículos matemáticamente se puede definir de la siguiente manera, según modelo planteado en la referencia [5].

Sea un grafo  $G(V, E)$  en donde:

- $V = \{v_0, v_1, v_2, \dots, v_n\}$  es un conjunto de vértices (nodos) del grafo, en donde  $v_0$  representa el depósito y los demás vértices representan a los clientes.
- $E =$  conjunto de aristas del grafo.

Además:

- $V' = V / \{v_0\}$  se va a usar como el sistema de  $n$  ciudades.
- $A = \{(v_i, v_j) / v_i, v_j \in V, i \neq j\}$ , quiere decir que  $A$  va a significar el conjunto de vértices (arcos) que pertenezcan al grafo y que sean disjuntos.
- $C$  va a ser la matriz no negativa de costos o distancias  $C_{ij}$  entre los clientes  $v_i$  y  $v_j$ .

- $d$  es un vector de demanda de clientes.
- $R_i$  es la ruta del vehículo  $i$ .
- $m$  es el número de vehículos (todos idénticos). Una ruta es asignada a cada vehículo.
- Cuando para todo  $C_{ij} = C_{ji}$  para todo  $(v_i, v_j) \in A$ , se dice que el problema es simétrico y es común reemplazar  $A$  por el conjunto:  $E = \{(v_i, v_j) / v_i, v_j \in V, i < j\}$ .
- Cada vértice ( $v_i$ ) en  $V'$  es asociado a una cantidad  $q_i$  de alguna mercancía que se entregará por un vehículo.

Por lo tanto el problema de ruteo de vehículos consiste en determinar un conjunto de “ $m$ ” rutas para “ $m$ ” vehículos en donde el coste total sea mínimo, comenzando y terminando en un depósito, tal que cada vértice  $V'$  sea visitado exactamente una sola vez.

### Formulación Matemática

Matemáticamente se plantearía su formulación de la siguiente manera:

$$b(V) = \sum_{v_i \in V'} d_i / C \quad (1)$$

Para facilitar el cálculo no se considera el tiempo de descargar la mercadería. Por lo tanto el costo de una ruta estaría definido directamente de la siguiente manera:

$$C(R_i) = \sum_{i=0}^m C_{i,j+1} \quad (2)$$

El costo del problema de ruteo de vehículos vendría a estar dado por:

$$F_{VRP}(S) = \sum_{i=1}^m C(R_i) \quad (3)$$

Las características de los clientes, depósitos y vehículos así como las diferentes restricciones operativas sobre las rutas, dan lugar a diferentes variantes del problema [5]

### C. Solución de VRP: Método Heurístico

Una heurística es un algoritmo que permite obtener soluciones de buena calidad para un problema dado. Esto permite tener menores tiempos de ejecución, pero sin asegurar la optimalidad de la solución [6].

#### Heurística de dos fases (Cluster First – Second Route)

Este método divide el procedimiento en dos etapas: en una primera instancia busca agrupar clientes en clústeres, respetando las restricciones de capacidad de carga de los vehículos haciendo uso del método de barrido (Figura N° 3), los cuales pertenecerán a una misma ruta.

En la heurística de barrido los clusters se forman girando una semirrecta con origen en el depósito e incorporando los clientes “barridos” por dicha semirrecta hasta que se viole la restricción de capacidad. Este algoritmo puede aplicarse en problemas planos, es decir, en los que cada nodo se corresponde con un punto en el plano y las distancias entre ellos se definen como la distancia euclídea [4].

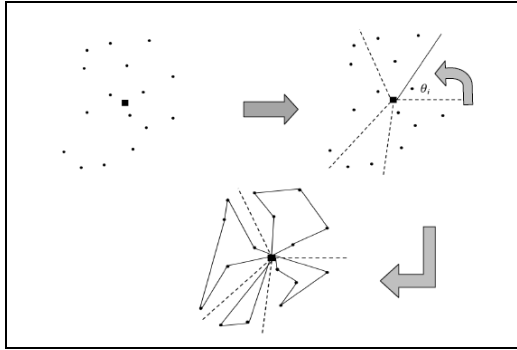


Fig. 3 Método de barrido

En una segunda etapa se procede a calcular una ruta que minimice la distancia total recorrida para cada clúster que puede ser resuelto utilizando el modelo de un TSP (*Traveling Salesman Problem*); el cual puede ser descrito como un VRP en el que se dispone de un solo vehículo. En la referencia [5] se propone un modelo de programación lineal entera mixta mostrado a continuación:

$$\min \sum_{(i,j) \in E} C_{ij} X_{ij} \quad (4)$$

$$s. a. \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (5)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} X_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \quad (6)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta^+(i) \setminus S} X_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V \quad (7)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall S \subset V$$

Las variables binarias  $x_{ij}$  indican si el arco  $(i, j)$  es utilizado en la solución. La función objetivo (4) establece que el costo total de la solución es la suma de los costos de los arcos utilizados. Las restricciones (5) y (6) indican que la ruta debe llegar y abandonar cada nodo exactamente una vez. Finalmente, las restricciones (7) son llamadas restricciones de eliminación de sub-tours e indican que todo subconjunto de nodos  $S$  debe ser

abandonado al menos una vez. Notar que si no se impusieran estas restricciones la solución podría constar de más de un ciclo. Esta solución viola la restricción (7) para  $S = \{0, 1, 2\}$ . Existen diferentes tipos de restricciones de eliminación de sub-tours.

Asumiendo que  $|E| = O(n^2)$ , esta formulación tiene una cantidad  $O(n^2)$  de variables binarias y  $O(2n)$  restricciones. El problema puede formularse con una cantidad polinomial de restricciones, agregando variables reales  $u_i$  para  $i = 1, \dots, n$  y sustituyendo las restricciones (7) por:

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad \forall (i, j) \in E, i \neq 0, j \neq 0.$$

Esta condición fuerza a que las variables reales  $u$  determinen una cantidad estrictamente creciente a lo largo de la ruta (es decir,  $u_j \geq u_{i+1}$  si  $j$  es visitado inmediatamente después que  $i$ ).

### III. METODOLOGÍA Y MODELO UTILIZADO

#### A. Descripción Genérica del Problema

Se tiene un almacén central desde el cual se realiza la distribución de mercadería peligrosa y mercadería no peligrosa a “ $m$ ” clientes, de los cuales “ $n$ ” clientes que solicitan al menos un producto que es clasificado como mercadería peligrosa para el transporte. El objetivo del modelo es minimizar los recursos utilizados tanto la distancia total recorrida como el número de vehículos utilizados para realiza la distribución.

Para la solución se hace una heurística de dos fases. En la primera etapa utilizamos la heurística de barrido clásica sin tener en cuenta la clasificación de la mercadería ni la capacidad del vehículo. Posteriormente se realiza una segunda clusterización, en la que se intercambian algunos nodos de modo que los clientes (nodos) que solicitan mercadería peligrosa se agrupen en el menor número de clusters posibles. Finalmente resolvemos cada cluster como si fuese un TSP.

En la Figura 4 se muestra la segunda clusterización, en la que se intercambian nodos que demandan mercadería peligrosa por nodos que demandan mercadería no peligrosa, de manera que todos los nodos con demanda de mercadería peligrosa se agrupen en el menor número de clusters posibles.

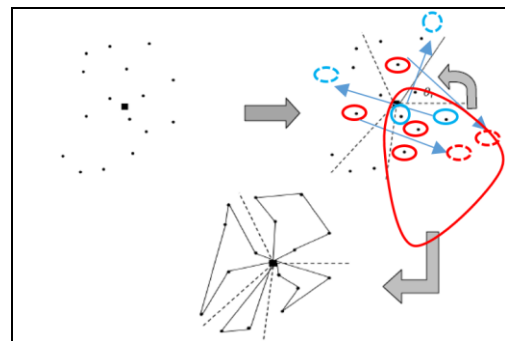


Fig. 4 Segunda clusterización

B. *Supuestos del modelo*

Se considera una red simétrica, en donde la distancia y tiempo empleado en dirigirse del nodo “i” al nodo “j”, es el mismo para ir de “j” a “i”. Se considera que existe una ruta posible que conecte cada nodo con todos los demás de la red de distribución y que no existen rutas prohibidas. La matriz de distancias entre cada par de puntos se calcula como la distancia mínima entre los nodos, a esta distancia obtenida se le multiplica por un factor, de modo que se represente la variación de la distancia debido a estructura de las calles. Cada uno de los clientes recibe el servicio de distribución solo una vez. Cada vehículo termina su ruta en el almacén principal para hacer entrega de los documentos propios de la distribución.

IV. APLICACIÓN DEL MODELO EN EL CASO DE ANÁLISIS

A. *Descripción del caso aplicado*

Una empresa comercializadora de insumos químicos cuenta con un almacén central ubicado en el distrito de Ate, desde el cual se realiza la distribución diaria de mercadería a sus clientes ubicados en diferentes distritos de Lima. Para el caso de estudio se considera la distribución a 19 clientes, cuyas demandas son conocidas.

Para obtener las coordenadas geográficas en UTM del almacén central y de cada uno de los clientes, se hizo uso de la herramienta de Google Earth, como se muestra en la Figura 5.

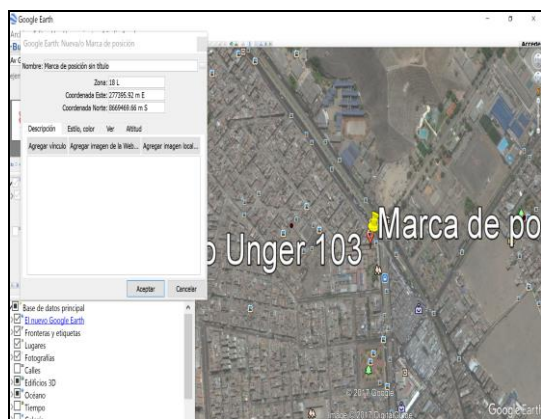


Fig. 5 Uso de Herramienta Google Earth para el cálculo de coordenadas UTM

El resumen de esta información de UTM y demandas se muestra en la siguiente tabla 1.

TABLA 1  
COORDENADAS GEOGRÁFICAS EN UTM  
Y DEMANDAS DEL CLIENTE

# CLIENTE	ESTE	NORTE	CTD SOLICITADA POR CLIENTE
0	285347.14	8665763.51	-
1	277395.89	8669464.97	5000
2	275379.51	8675024.34	4000
3	280209.76	8653048.84	120
4	287841.01	8667389.43	202
5	288532.78	8662227.15	300
6	285732.41	8648266.31	600
7	286361.53	8665856.79	210
8	285743.98	8665419.67	100
9	268426.05	8665904.09	50
10	268555.59	8674898.87	100
11	275224.83	8676766.93	1900
12	275326.03	8675000.87	1000
13	282603.1	8651932.84	7
14	285000.59	8665657.55	20
15	286518.38	8666143.56	250
16	274681.16	8667644.21	100
17	274261.44	8690091.27	50
18	274292.94	8677744.57	660
19	275698.09	8681904.7	25
8	285743.98	8665419.67	100
9	268426.05	8665904.09	50
10	268555.59	8674898.87	100
11	275224.83	8676766.93	1900

Para realizar la distribución de la mercadería se dispone de 11 vehículos con capacidad heterogénea, estos vehículos difieren básicamente por la capacidad de carga, las condiciones y la autorización para el transporte de mercadería peligrosa.

Las características de la flota se indican en la siguiente tabla 2.

TABLA 2  
CARACTERÍSTICAS DE LA FLOTA DISPONIBLE

# VEHÍCULO	AUTORIZADO PARA TRANSPORTE DE MERCADERIA PELIGROSA	CAPACIDAD ÚTIL
1	NO	1,050
2	SI	1,600
3	SI	3,500
4	NO	5,900
5	SI	1,600
6	SI	9,000
7	NO	6,500
8	SI	16,00
9	NO	0.520
10	NO	5,000
11	NO	1,500

Para la distribución de mercadería se dispone de un horario de 08 horas. En base a esto, y considerando la data de la empresa, se refiere que un vehículo puede atender sólo un número limitado de clientes, que para el caso de estudio serán 7 clientes máximo por ruta. Para la asignación de los vehículos se tiene en cuenta que el costo fijo diario de utilizar un vehículo autorizado para distribución de mercadería peligrosa es de 400 soles frente al costo de utilizar un vehículo no autorizado, cuyo costo de es de 350 soles. El % de mercadería clasificada como peligrosa para el transporte representa entre el 18 y 20 % de la carga total a ser distribuida diariamente, siendo este un dato basado en la data histórica de la empresa. En caso de que un cliente solicite al menos un producto clasificado como mercadería peligrosa para el transporte, todos los demás productos solicitados por el mismo cliente deberán ser asignados a un vehículo que cuente con autorización para el transporte de mercadería peligrosa. Se considera que el factor más relevante para la asignación de vehículos es el peso de la mercadería solicitada por cada cliente en kg. El factor volumen de cada mercadería no se tomará en cuenta por ser un factor menos relevante.

*B. Aplicación de la Heurística de dos fases*

Para poder aplicar la heurística de se requiere que cada nodo corresponda a un punto en el plano y las distancias entre ellos se defina como la distancia euclídea. Para esto obtenemos las coordenadas geográficas en UTM en

función de las coordenadas del almacén central. Esta información se muestra en la tabla 3. Gráficamente esta información se muestra en la Figura6.

TABLA 3  
COORDENADAS GEOGRÁFICAS EN UTM EN FUNCIÓN DE LAS COORDENADAS DEL ALMACÉN CENTRAL

# CLIENTE	COORDENADAS CON RESPECTO AL ALMACÉN	
	ESTE	NORTE
0	0	0
1	-7951.25	3701.46
2	-9967.63	9260.83
3	-5137.38	-12714.67
4	2493.87	1625.92
5	3185.64	-3536.36
6	385.27	-17497.2
7	1014.39	93.28
8	396.84	-343.84
9	-16921.09	140.58
10	-16791.55	9135.36
11	-10122.31	11003.42
12	-10021.11	9237.36
13	-2744.04	-13830.67
14	-346.55	-105.96
15	1171.24	380.05
16	-10665.98	1880.7
17	-11085.7	24327.76
18	-11054.2	11981.06
19	-9649.05	16141.19

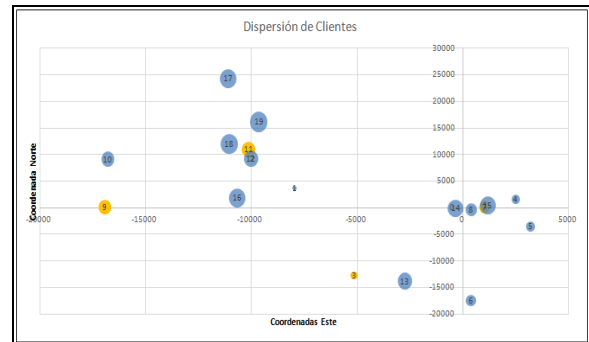


Fig. 6 Dispersión inicial de los clientes con respecto al almacén

**Primera Etapa: Clusterización Inicial y segunda clusterización .**

Se aplicó el método de barrido, considerando 7 puntos como máximo por cada cluster. Esta clusterización se realiza sin tener en cuenta la capacidad de los vehículos ni la clasificación

de la mercadería. Los cluster obtenidos se muestran en la tabla 4. Gráficamente esta información se muestra en la Figura 7.

TABLA 4  
CLUTERIZACIÓN INICIAL

LUSTER	DETALLE	PUNTOS DEL CLUSTER POR BARRIDO
CLUSTER N° 1	PELIGROSA	0,7,8,4,5,6,15
CLUSTER N° 2	NO PELIGROSA	0,2,11,12,14,17,18,1
CLUSTER N° 3	NO PELIGROSA	9

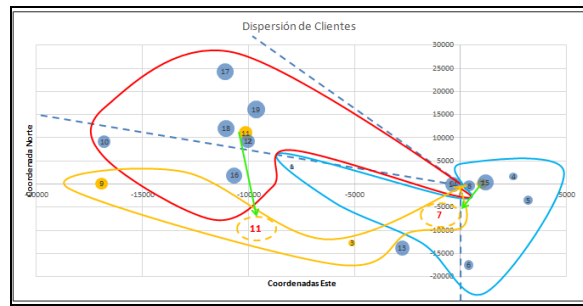


Fig.8 Segunda Clusterización por intercambio de puntos

### Segunda Etapa: Ruteo haciendo uso de modelo TSP

Para el cálculo de la ruta óptima por cada cluster se hizo uso de un modelo de programación lineal entera, para cuya solución se utilizó el programa LINDO. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla Tabla N° 6. Gráficamente se muestra esta información en las Figuras N°9, N°10, N°11.

TABLA 6  
RUTAS ÓPTIMAS USANDO LINDO

DETALLE	SEGUNDA CLUSTERIZACIÓN
CLUSTER N° 1	0-8-15-4-5-6-1-0
CLUSTER N° 2	0-2-18-19-17-10-16-14-0
CLUSTER N° 3	0-11-12-9-3-13-0

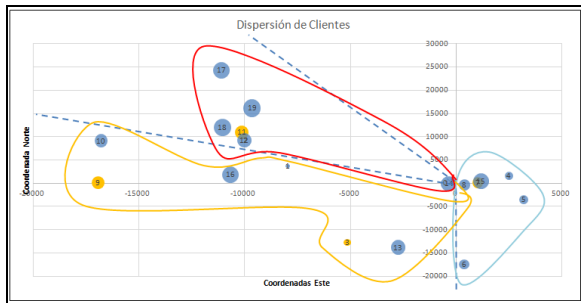


Fig. 7 Clusterización inicial

Se realiza una segunda clusterización haciendo intercambio de nodos para agrupar la mercadería peligrosa de modo que se optimice la utilización de camiones con autorización para transporte de mercadería peligrosa. Se procede a realizar un intercambio de nodos teniendo en cuenta la capacidad del vehículo, de los cluster establecidos en la primera clusterización. Los cluster obtenidos con intercambio de puntos se muestran en la tabla N°5. La segunda clusterización con intercambio de puntos se muestra en la Figura 8.

TABLA 5  
SEGUNDA CLUSTERIZACIÓN CON INTERCAMBIO DE PUNTOS

CLUSTER	DETALLE	CLUSTER INICIAL
CLUSTER N° 1	PELIGROSA	0,8,6,15,4,5,1
CLUSTER N° 2	NO PELIGROSA	0,2,10,14,17,18,19,1
CLUSTER N° 3	NO PELIGROSA	0,9,3,7,11,13,12

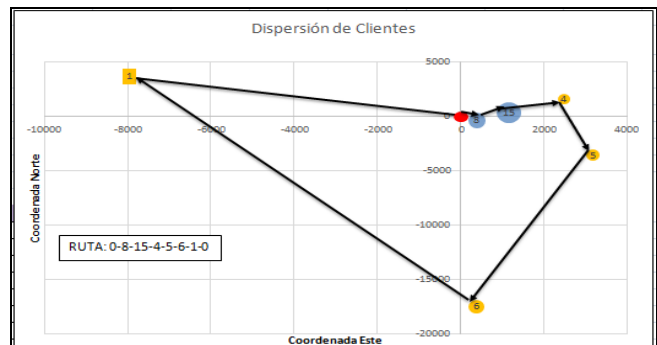


Fig. 9 Ruta óptima para Cluster 1

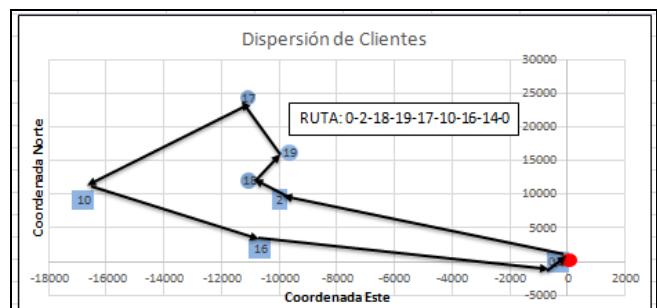


Fig. 10 Ruta óptima para Cluster 2

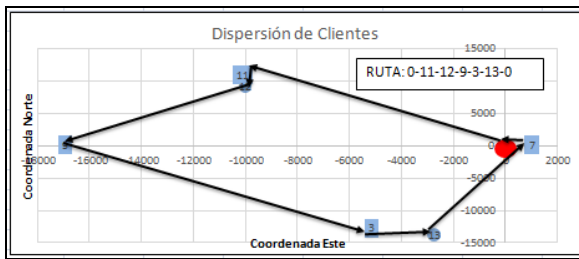


Fig. 11 Ruta óptima para Cluster 3

## V. RESULTADOS OBTENIDOS

Actualmente la empresa realiza la asignación y ruteo diario de manera empírica. Los clusters y rutas obtenidas se muestran en la tabla .

TABLA 7  
CLUSTERIZACIÓN Y RUTAS EMPÍRICAS

DETALLE	CLUSTER EMPÍRICO
CLUSTER N° 1	0-11-12-19-17-18
CLUSTER N° 2	0-7-9-15-3-13-6-5-0
CLUSTER N° 3	0-10-2-4-0
CLUSTER N° 4	0-16-1-14-8-0

Las tablas 8 y 9 muestran los resultados de realizar la asignación y ruteo de manera empírica.

TABLA 8  
COSTOS POR ASIGNACIÓN DE VEHÍCULOS EMPÍRICOS

VEHÍCULOS UTILIZADOS ASIGNACIÓN DE RUTAS DE MANERA EMPÍRICA				
VEHÍCULO	AUTORIZADO MERCADERÍA PELIGROSA	COSTO DIARIO	CAPACIDAD ÚTIL	CLUSTER ASIGNADO
3	SI	S/.400	3500	Cluster N° 1
5	SI	S/.400	1600	Cluster N° 2
10	NO	S/.350	5000	Cluster N° 3
4	NO	S/.350	5900	Cluster N° 4
Costo por utilizar los vehículos		1500 soles		

TABLA 9  
DISTANCIAS RECORRIDAS POR RUTAS EMPÍRICAS

CLUSTER	DISTANCIA RECORRIDA (km)
Cluster N°1 (km)	95.305
Cluster N°2 (km)	110.369
Cluster N°3 (km)	96.211
Cluster N°4 (km)	33.814
Total	335.700

A continuación se presentan los resultados obtenidos de haber realizado la asignación y ruteo con una heurística de dos fases. Las tablas N°10 y N°11 muestran los resultados de realizar la asignación haciendo uso de la heurística de dos fases.

TABLA 10  
COSTOS POR ASIGNACIÓN CON HEURÍSTICA DE DOS FASES

VEHÍCULOS UTILIZADOS ASIGNACIÓN DE RUTAS CON HEURÍSTICA DE DOS FASES				
VEHÍCULO	AUTORIZADO MERCADERÍA PELIGROSA	COSTO DIARIO	CAPACIDAD ÚTIL	CLUSTER ASIGNADO
3	SI	S/.400	3500	Cluster N° 1
7	NO	S/.350	6500	Cluster N° 2
10	NO	S/.350	5000	Cluster N° 3
Costo por utilizar los vehículos		1100 soles		

TABLA 11  
DISTANCIAS POR ASIGNACIÓN CON HEURÍSTICA DE DOS FASES

CLUSTER	DISTANCIA RECORRIDA (km)
Cluster N°1 (km)	76.932
Cluster N°2 (km)	93.101
Cluster N°3 (km)	90.027
Total	260.060

Los resultados comparativos ambas formas de asignación (empírica y con heurística de dos fases) se muestran en la tabla 12 y tabla 13.

TABLA 12  
COSTOS COMPARATIVOS ENTRE ASIGNAR LA RUTA DE MANERA EMPÍRICA VS ASIGNAR LA RUTA CON UNA HEURÍSTICA DE DOS FASES

COSTO TOTAL DE ASIGNACIÓN DE VEHÍCULOS	
EMPÍRICA	DOS FASES
S/.1,500	S/.1,100
Ahorro obtenido del 26.557 % al realizar la asignación con heurística de dos fases comparado con realizar la asignación de manera empírica	

TABLA 13  
DISTANCIA COMPARATIVA ENTRE ASIGNAR Y RUTEAR DE MANERA EMPÍRICA VS ASIGNAR CON UNA HEURÍSTICA DE DOS FASES.

DISTANCIA TOTAL RECORRIDA	
EMPÍRICA	DOS FASES
335.700	260.060
Ahorro obtenido del 22.532 % al realizar la asignación con heurística de dos fases comparado con realizar la asignación de manera empírica	



Con los resultados comparativos obtenidos, se procedió a calcular el ahorro anual promedio esperado, considerando 251 días laborables en los que se realiza la actividad de distribución en la empresa. Los resultados esperados se muestran en la tabla N°14.

TABLA 14  
*PROYECCIÓN DE AHORRO EN COSTOS DE ASIGNACIÓN DE RUTAS  
 DE VEHÍCULOS UTILIZANDO LA HEURÍSTICA DE DOS FASES.*

DIAS LABORABLE S EN EL 2017	AHORRO POR DIA	AHORRO ESPERADO EN 1 AÑO
251	S/.400	S/.100,400

### V. CONCLUSIONES

El presente trabajo se pudo concluir que optimizando la actividad de asignación y ruteo de vehículos para la distribución de mercadería en una empresa comercializadora de insumos químicos se pueden conseguir ahorros considerables, permitiendo minimizar los costos de la empresa, con lo cual se podría obtener una mayor rentabilidad.

La versatilidad del modelo propuesto permite su aplicación en una gran variedad de negocios y de situaciones presentadas desarrollando ciertas modificaciones al modelo original. Pudiendo ser utilizado como herramienta de aplicación para problemas reales y con diversas restricciones, según sea la necesidad de la empresa de estudio.

La aplicación del modelo heurístico de dos fases, con primera fase modificada por intercambio de puntos (nodos), permite ordenar de manera conveniente los cluster iniciales, considerando la clasificación de la mercadería y la capacidad de los vehículos. Esto se realiza de manera que se optimice el número de vehículos utilizados por clasificación de mercadería.

### REFERENCIAS

[1] P. Toth y D. Vigo, “The vehicle routing problem”, SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, 2002.

[2] P. Toth y D. Vigo, “Vehicle routing: problems, methods and applications”, SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, 2014.

[3] Arroyave, M. R., & Naranjo, V. V. Desarrollo de un modelo de distribución urbana de mercancías con plataformas logísticas aplicado a la ciudad. Ingenierías USBmed, 5(1), 67-76, 2014.

[4] Olivera, A. Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos. Reportes Técnicos 04-08, 2004.

[5] Bernabe Dorronso VRP <http://www.bernabe.dorronsoro.es/vrp/>

[6] Lüer, A., Benavente, M., Bustos, J., & Venegas, B. El Problema de Rutas de Vehículos: Extensiones y Métodos de Resolución, estado del Arte. In EIG, 2009.