

Mejorar el ruteo de las unidades de transporte para incrementar paquetes por ruta

Improving the routing of the transport units to increase packages per route

Margarita Jazmín Chávez Silva₁

Ana María López Martínez₂

Juan Alfredo Lino Gamiño₃

Eduardo Antonio Chang Muñoz₄

Recibido: 24/04/2023

Aceptado: 23/06/2023

¹ Estudiante de la FCA de Tecomán, Universidad de Colima, mchavez63@ucol.mx, <https://orcid.org/0009-0006-2551-9070>

² Estudiante de la FCA de Tecomán, Universidad de Colima, anamaria_lopez@ucol.mx, <https://orcid.org/0009-0002-3775-1687>

³ Profesor investigador FCA de Tecomán, Universidad de Colima, jlino@ucol.mx, <https://orcid.org/0000-0002-7022-5438>

⁴ Profesor investigador CUC Barranquilla, Colombia, <https://orcid.org/0000-0002-1826-1626>

Resumen

Es fundamental comprender y dominar el análisis de ruteo para abordar correctamente el tema de los desplazamientos, ya que ambos aspectos están estrechamente relacionados y contribuyen a crear un modelo de ruteo de vehículos más efectivo. El cubicaje, por su parte, reviste una importancia vital tanto para el transportista como para el embarcador o cliente, ya que cualquier error en su cálculo repercute en los costos operativos de todos los involucrados en el proceso de abastecimiento. Sin embargo, se ha observado que la unitarización mediante tarimas u otras herramientas similares no soluciona el problema de disposición de la capacidad de transporte, debido a que las dimensiones de las tarimas no son múltiplos de las medidas del contenedor del camión. Por tanto, se llevó a cabo un análisis en el lugar de los hechos, se aplicaron técnicas de ruteo y se realizaron ajustes en los procesos, lo cual resultó en una mejora tanto en los tiempos como en el rendimiento de la estación. Palabras clave: calidad, ruteo, heurística, clientes.

Abstract

It is essential to understand and master routing analysis to correctly address the issue of displacements, since both aspects are closely related and contribute to creating a more effective vehicle routing model. The cubic capacity, for its part, is of vital importance both for the carrier and for the shipper or client, since any error in its calculation affects the operating costs of all those involved in the supply process. However, it has been observed that the unitization by means of pallets or other similar tools does not solve the problem of taking advantage of the transport capacity, because the dimensions of the pallets are not multiples of the measurements of the container or truck boxes. Therefore, an analysis was carried out at the scene, routing techniques were applied and adjustments were made in the processes, which resulted in an improvement in both the times and the performance of the station. Keywords: quality, routing, heuristics, clients.

Planteamiento del problema

En la actualidad, existe un desafío relacionado con el ruteo de unidades para la entrega de paquetes, lo cual ha generado un bajo número de envíos por ruta (SPR, por sus siglas en inglés), que resulta en altos costos para las unidades y tiene un impacto negativo en el aspecto financiero de este sector. Para abordar esta situación, es crucial comprender y dominar el análisis de ruteo, el cual, a su vez, proporcionará una comprensión del tema del cubicaje, ya que ambos aspectos están estrechamente relacionados y son fundamentales para desarrollar un modelo de ruteo vehicular más eficiente. El cubicaje desempeña un papel vital tanto para los transportistas como para los embarcadores, ya que realizarlo incorrectamente afecta el costo operativo de todos los implicados en el proceso de suministro. Si el transportista no utiliza adecuadamente su capacidad instalada, el transporte por unidad movilizada puede resultar más costoso para el embarcador o cliente, además del riesgo de pérdidas debido a una mala disposición de la mercancía.

Por otro lado, un adecuado cubicaje es crucial para realizar maniobras seguras durante la carga y descarga del producto. Un buen cubicaje contribuye a reducir los tiempos de entrega y facilita un proceso de logística de mercancías más ágil. Sin embargo, se ha observado que la unitarización mediante el uso de pallets u otros dispositivos similares no resuelve el problema de utilización de la capacidad de transporte, ya que las dimensiones de estos elementos no son múltiplos de las medidas de los contenedores o cajas de los camiones. Esto resulta en espacios vacíos durante la disposición de la carga, los cuales a menudo se llenan con bolsas de aire u otros objetos para evitar el desplazamiento de los pallets y los productos durante el transporte.

Pregunta de investigación

¿La aplicación de la heurística a la empresa de logística mejorará el desempeño in situ y la percepción de los clientes con respecto al servicio ofrecido?

Objetivo de la investigación

Determinar si la aplicación de la heurística a la empresa de logística mejorará el desempeño in situ y la percepción de los clientes con respecto al servicio ofrecido.

Justificación

Un cubicaje esmerado es importante para las manipulaciones seguras en el proceso de carga y descarga del producto. Esto minimiza los tiempos de entrega y coadyuva a un proceso de distribución más ágil.

Figura 1. Cubicaje: distribución a bajo costo



Fuente: Elaboración propia.

El ruteo de vehículos se puntualiza de manera positiva o negativa al determinar las asignaciones optimizadas para la entrega a clientes que están distribuidos geográficamente (Bodin et al., 1983). El Problema de Ruteo de Vehículos (VRP) consiste en estipular un grupo de clientes a un grupo de vehículos con el objetivo de entregar productos de manera eficiente, minimizando el tiempo, la distancia y los recursos económicos necesarios, representados en costos fijos y variables.

Esta asignación debe cumplir con diversas restricciones, como los recursos disponibles, los límites de tiempo de los empleados, la velocidad de viaje, los requisitos de los clientes y las características de los vehículos. El VRP es una clase de investigación de operaciones y su importancia es práctica, ya que se encuentra presente en organizaciones que deben entregar productos o servicios a sus clientes en ubicaciones acordadas.

El VRP con Ventanas de Tiempo (VRPTW) busca minimizar la flota, los tiempos y los costos de viaje, además de minimizar los tiempos de espera establecidos. Por otro lado, el VRP con despacho y recolección considera la posibilidad de que los clientes devuelvan productos, con restricciones específicas, como el origen y destino de los productos despachados y devueltos.

El VRP con Demanda Estocástica (VRPSD) es una variación del CVRP. Este problema surge cuando una empresa enfrenta entregas a clientes cuyas demandas tienen incertidumbre. Se asume que la demanda de cada cliente es una variable aleatoria discreta, con una distribución de probabilidad especificada, lo que implica que la probabilidad de que un cliente solicite una cantidad específica de productos varía (Bertsimas, 1992).

Tabla 1. Teorías relevantes

Enfoques exactos	<input type="checkbox"/> Branch & Bound <input type="checkbox"/> Branch & Cut
Heurística:	Los métodos heurísticos realizan una exploración relativamente limitada del espacio de búsqueda y por lo general producen soluciones de buena calidad dentro de los tiempos de computación modestos.
Métodos constructivos:	<input type="checkbox"/> Ahorros: Clark and Wright <input type="checkbox"/> Coincidencia de base <input type="checkbox"/> Heurísticas de mejoramiento multi-ruta
Algoritmo de 2 fases:	El problema se descompone en sus dos componentes naturales: (1) la agrupación de los vértices en rutas viables y (2) la construcción real de la ruta, con posibles bucles de retroalimentación entre las dos etapas.
Metaheurísticas:	<ul style="list-style-type: none"> • AntAlgorithms (Colonia de hormigas) • ConstraintProgramming (Programación de restricciones) • Deterministic Annealing (Recocido determinístico) • Genetic Algorithms (Algoritmo Genético) • Simulated Annealing (Recocido simulado) • Tabu Search (Búsqueda Tabú)

Fuente: Elaboración propia.

Metodología

El método que se usó fue la exploración in situ y análisis de los problemas detectados a modo de snapshot, la aplicación de la metodología de calidad correspondiente y el posterior snapshot para la comparativa de escenario, lo cual establece la metodología de investigación-acción que es: antes-intervención-después. Esto comprende la utilización de diagramas de pescado para identificar el problema, revisiones de bitácoras, un diagrama Gantt, proyecciones y propuestas de mejora.

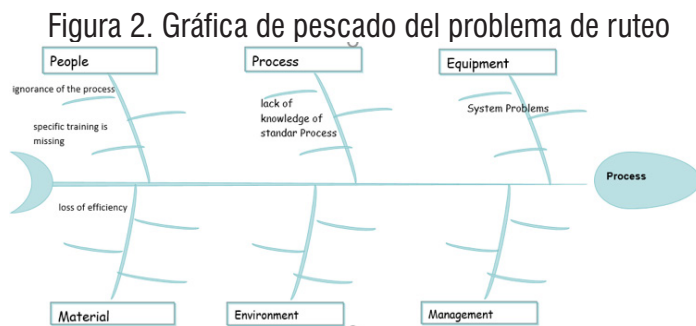
Nombre y giro del negocio: Amazon DMX1 Rosario, Entrega a clientes de paquetes como last mile del país de la zona centro del país. Dirección: Cultura Norte #12, col. San Martín Xochinahuac, Azcapotzalco.

Descriptivo de la estación

El transportador tiene 90 cm de ancho con una velocidad de clasificación de 30 a 90 pies por minuto y una capacidad de clasificación de 6,600 paquetes por hora.

Definición del problema

El problema se detecta al no tener optimizado (ver Tabla 2) el sistema de los volúmenes por ruta, en el cual se presenta desde la configuración que se tiene para el ruteo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Sistema de volúmenes

Cluster Code	Status	Total Volume	Unplanned Volume	Total Routes	Flex Routes	DSP Routes	SPR
SAMEDAY_DMx1_Vans_GAM	Plan Completed	413	1	15	0	15	28
Sameday	Plan Completed	440	0	18	0	18	24
SAMEDAY_DMx13_BIKES	Plan Completed	748	0	24	0	24	31
SAMEDAY_DMx13_Vans	Plan Completed	1,012	0	42	0	42	24
Total		2,613	1	99	0	99	26

Fuente: Elaboración propia.

Descriptivo de la ruta

Utilizando un diagrama de pescado (Figura 2), se detecta que este problema surge debido a la falta de mejora o entendimiento del proceso

y, por tal motivo, gran parte del personal no entiende estas situaciones para mejorarlo.

Resultados

Análisis de las causas

Al observar que se cuenta con demasiados clústeres (segmentaciones de volumen de acuerdo con código postal) para el volumen de sameday y se refleja que el promedio es de 26 paquetes por ruta. Este aspecto genera costos demasiados altos durante las primeras 11 semanas del año, es decir, un estimado de \$327K promedio por semana.

El VRP (Tabla 3) es un desafío matemático que implica encontrar la mejor manera de organizar una serie de rutas y depósitos. Cada ruta es asignada a un vehículo individual con el objetivo de minimizar los costos totales de transporte, al tiempo que se satisfacen las demandas y se cumplen las restricciones operativas específicas para la variante en estudio y los objetivos de cada investigación de manera precisa.

Tabla 3. Revisión de bitácoras

Week	December				January				February				March			Average
	WS0	WS1	WS2	WS3	W01	W02	W03	W04	W05	W06	W07	W08	W09	W10	W11	
Volume	14,343.00	17,041.00	11,382.00	12,218.00	17,095.00	16,982.00	17,374.00	15,589.00	14,253.00	17,806.00	18,028.00	17,008.00	17,402.00	16,522.00	16,044.00	15,998.13
Sameday Parcel Units	418	507	363	133	551	509	302	487	435	542	527	416	516	455	385	436
Trailer Units	163	173	124	134	145	158	129	122	143	160	175	168	171	159	142	151
Sameday Parcel SPR	23	24	20	24	23	24	20	19	23	24	24	21	24	27	31	23
Trailer SPR	30	29	22	26	31	30	13	18	29	29	30	22	29	29	32	27
Cost * SDP * Week	\$113,500.00	\$380,250.00	\$272,250.00	\$ 99,750.00	\$413,250.00	\$381,750.00	\$226,500.00	\$365,250.00	\$ 326,250.00	\$ 406,500.00	\$ 395,250.00	\$312,000.00	\$387,000.00	\$ 341,250.00	\$288,750.00	\$ 327,300.00
Cost * Trailer * Week	\$ 81,500.00	\$ 86,500.00	\$ 62,000.00	\$ 67,000.00	\$ 72,500.00	\$ 79,000.00	\$ 64,500.00	\$ 61,000.00	\$ 71,500.00	\$ 80,000.00	\$ 87,500.00	\$ 84,000.00	\$ 85,500.00	\$ 79,500.00	\$ 71,000.00	\$ 75,533.33
Total Cost	\$395,000.00	\$466,750.00	\$334,250.00	\$116,750.00	\$485,750.00	\$460,750.00	\$283,000.00	\$426,250.00	\$ 397,750.00	\$ 486,500.00	\$ 482,750.00	\$396,000.00	\$472,500.00	\$ 420,750.00	\$359,750.00	\$ 397,633.33
SDP Cost per package	\$ 21.86	\$ 22.31	\$ 23.92	\$ 26.58	\$ 24.17	\$ 22.48	\$ 30.72	\$ 23.43	\$ 22.89	\$ 22.83	\$ 21.92	\$ 23.82	\$ 22.24	\$ 20.65	\$ 18.00	\$ 23.85
Trailer Cost per package	\$ 16.66	\$ 17.18	\$ 19.63	\$ 19.44	\$ 16.26	\$ 17.08	\$ 19.57	\$ 18.15	\$ 17.15	\$ 17.08	\$ 16.87	\$ 18.30	\$ 17.12	\$ 17.21	\$ 15.78	\$ 17.56
General Cost per Package	\$ 19.26	\$ 19.75	\$ 21.77	\$ 23.01	\$ 20.21	\$ 19.78	\$ 25.14	\$ 20.79	\$ 20.02	\$ 19.95	\$ 19.40	\$ 26.06	\$ 19.68	\$ 18.93	\$ 16.89	\$ 20.71

Fuente: Elaboración propia.

Propuesta de mejora

Dentro del plan de mejora se integra la reducción de los clústeres que se encuentran actualmente en la estación de Amazon Rosario DMX1, para eliminar la segmentación excesiva de unidades y de esta manera poder reducir a su vez el número de unidades por día, ya que se incrementaría el SPR. Para ello, primero se desarrolló un diagrama de Gantt con las actividades consideradas importantes para el desarrollo de lo requerido.

De la misma manera, al hacer una prueba en sistema eliminando los clústeres, se observa una reducción significativa en el número de unidades.

Tabla 4. Proyecto Gantt

Top Level Priorities				Project Owner	Jose Luis Rendon																		
Action Plan				Performance Target Plan/Actual																			
Activities & Milestone	Leader	Status	wk	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23				
Define Project	Jose Luis	Completed	P A	█																			
Find de Route Cause of the problem/situation affecting the station and can be improve	Jose Luis	Completed	P A	█	█																		
Dive Deep of the historical data/resources	Jose Luis	Completed	P A	█	█	█																	
general analysis (Actual afectacions and possible solutions)	Jose Luis	Completed	P A	█	█	█	█																
Testing	Jose Luis	Completed	P A		█	█	█																
Testing results	Jose Luis	Completed	P A			█	█	█															
Results vs Planned	Jose Luis	Completed	P A				█	█	█														
Readjust the coverage (Mix clusters Vans/Bikers)	Jose Luis	In Process	P A					█	█	█	█	█	█										
Standardize the Units (SDP cars, not have the same size, so sometimes dont fit al the packages)	Jose Luis	Not started	P A											█	█	█	█						

Fuente: Elaboración propia.

Plan de implementación y mejora continua

Dentro de la implementación y/o mejora se encuentra el análisis de la proyección de estos movimientos, a nivel temas de ahorro como de unidades a fin de visualizar un forecast para el futuro.

Tabla 5. Proyección futura

Cluster Code	Status	Total Volume	Unplanned Volume	Total Routes	Flex Routes	DSP Routes	SPR
SAMEDAY_DM13_BIKES	Plan Completed	837	0	25	0	25	33
SAMEDAY_DM13_Vans	Plan Completed	2,204	0	56	0	56	39
Total		3,041	0	81	0	81	38

Fuente: Elaboración propia.

Además, es importante buscar siempre la menor afectación posible a cualquier cliente. Por otro lado, priorizar asimismo el seguimiento puntual a los diversos factores que están afectando actualmente; por ejemplo, el promedio de SPR usado en SD en Cars es de 25 y en Biker 30 con más de 100 unidades por día y un promedio de \$65K por día en unidades, también generando uso de un segundo ciclo para despachar las rutas completas.

Tabla 6. Optimización

	March	April					Average
After	W12	W13	W14	W15	W16	W17	
Volume	17,726	14,292	18,306	18,050	18,374	22,248	19,245
Sameday Parcel Units	344	312	376	389	388	332	371
Biker Units	156	147	188	201	178	194	190
Sameday Parcel SPR	37	29	34	32	34	36	34
Biker SPR	32	24	30	28	29	30	29
Cost * SDP * Week	\$258,000.00	\$234,000.00	\$282,000.00	\$291,750.00	\$291,000.00	\$249,000.00	\$278,437.50
Cost * Biker * Week	\$ 78,000.00	\$ 73,500.00	\$ 94,000.00	\$100,500.00	\$ 89,000.00	\$ 97,000.00	\$ 95,125.00
Total Cost	\$336,000.00	\$307,500.00	\$376,000.00	\$392,250.00	\$380,000.00	\$346,000.00	\$373,562.50
SDP Cost per package	\$ 14.55	\$ 16.37	\$ 15.40	\$ 16.16	\$ 15.84	\$ 11.19	\$ 14.65
Biker Cost per package	\$ 15.65	\$ 18.11	\$ 16.92	\$ 17.85	\$ 17.04	\$ 17.44	\$ 17.31
General Cost per Package	\$ 15.10	\$ 17.24	\$ 16.16	\$ 17.01	\$ 16.44	\$ 14.32	\$ 15.98

Fuente: Elaboración propia.

Optimizando las unidades mediante un ruteo adecuado se generan rutas más completas, como también un ahorro considerable en el tema de los costos. De tal manera, esta implementación beneficia a la estación y, a la par, se genera un modelo replicable para otras estaciones del país. Así, se formuló un modelo de ruteo de vehículos que optimiza la distribución de productos, reduciendo los costos de recorrido

y mejorando el servicio a los clientes mediante la implementación de ventanas de tiempo.

Conclusiones

Dado que los problemas de ruteo, como el VRPTW, son matemáticamente complejos, se encontró que las metaheurísticas, específicamente las búsquedas tabú, son eficientes para obtener soluciones de calidad en menos tiempo que los métodos exactos. El algoritmo de búsqueda tabú diseñado obtuvo soluciones cercanas a las óptimas para instancias pequeñas en comparación con los resultados de LPSolve.

Al cambiar el proceso y considerar los horarios de recepción de mercancía de los clientes, se logra una planificación de rutas que reduce los costos de recorrido debido a las visitas repetidas y garantiza el cumplimiento de los pedidos. El parámetro más sensible fue la cantidad de clientes a visitar, mientras que los cambios en la capacidad de los vehículos y la reducción de las ventanas de tiempo tuvieron una menor variación en la función objetivo.

Financieramente no se requiere inversión inicial y se generan ahorros en los costos variables de combustible y mantenimiento de los vehículos. Además, se espera atender el 5% de las ventas mensuales que actualmente no se están considerando, gracias al modelo propuesto.

Para mejorar la precisión del modelo, se puede incorporar una función de costo de recorrido que integre tanto la distancia como el tiempo de recorrido, en función del tráfico de las vías, ya que el consumo de combustible aumenta significativamente en condiciones de tráfico denso.

Referencias

- Bazgan, C., Hassin, R. y Monnot, J. (2005). Approximation algorithms for some vehicle routing problems. *Discrete Applied Mathematics*, 146, pp. 27-42. <https://doi.org/10.1016/j.dam.2004.07.003>
- Bertsimas, D. (1992). A vehicle routing problem with stochastic demand. *Operations Research*, 40(3), pp. 574-585. <https://doi.org/10.1287/opre.40.3.574>
- Bodin, L., Golden, B., Assad, A. y Ball, M. (1983). The State of the Art in the Routing and Scheduling of Vehicles and Crews. *Computers and Operations Research*, 10(2), pp. 63-211. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(83\)90030-8](https://doi.org/10.1016/0305-0548(83)90030-8)
- Braysy, O. and Gendreau, M. (2001). *Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows, Technical Report STFA01025, SINTED Applied Mathematics*. Department of Optimization, Oslo, Norway.
- Cordeau J.F. y Laporte G. (2002). *Tabu Search Heuristics for theVRP*. Canada Research Chair in Distribution Management and GER-AD Ecole des Hautes Commerciales.
- Cordeau, F., Laporte, G. y Mercier, A. (2001). A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows. *Journal of the operational research society*, 52, pp. 928–936. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601163>
- Desrochers M. y Verhoog T. (1989). *A matching based savings algorithm for the vehicle routing problem*. Les Cahiers du GERAD, Ecole des Hautes Etudes Commerciales of Montreal.
- Díaz, H. B., García, R. y Porceli, N. (2008). Las PYMES: costos en la cadena de abastecimiento. *Revista EAN*, 63, pp. 5-22. <https://doi.org/10.21158/01208160.n63.2008.438>
- LPsolve (s.f.). *Introduction to Lp Solve 5.5*. [En línea.] <http://lpsolve.sourceforge.net/5.5/> [Consulta: septiembre 2014]
- Ruan Q., Zhang, Z., Miao, L. y Shen, H. (2013). A hybrid approach for the vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints. *Computers and Operations Research*, 40(6), pp. 1579-1589. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.11.013>
- Solomon, M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations Research*, 35(2), pp. 254-265. <https://doi.org/10.1287/opre.35.2.254>
- The VRP Web. (s.f.) *Inicio neo*. <http://neo.lcc.uma.es/vrp/> [Consulta: agosto 2013].