

El problema de enrutamiento de inventario con prioridades para una empresa distribuidora de oxígeno

Fernanda Flores¹

Diego García Tinajero¹
Jannet Tamayo¹

Adrián Martínez¹
Iván Vega¹

Aldo Rangel¹

¹Centro de Investigación en Matemáticas A.C.
Avenida de la plenitud 103, Fracc. José Vasconcelos
CP 20200, Aguascalientes, Ags.

Resumen

En el presente se busca optimizar la ruta de distribución de oxígeno a empresas y hospitales en el área de Monterrey, considerando el inventario, tasa de consumo y demanda de éstos, así como la distancia del recorrido en cuestión.

El problema se aborda con el uso de un algoritmo de optimización estocástica (Evolución Diferencial) y un algoritmo de estimación de distribución (UMDA).

I. Introducción

Plateamiento del problema: En una tarde de marzo de 2022, después de una larga jornada de trabajo, Juan Pérez, gerente regional de distribución de una empresa productora y distribuidora de gases industriales y medicinales, medita sobre los retos operativos a los cuales se enfrenta. Ha pasado un par de meses desde que se incorporó a la compañía, y se encuentra bajo mucha presión por parte del CEO, quien desea reducir costos tanto en producción como en distribución.

Establecida en mayo de 1960, Air Industry es una de las compañías más importantes en su ramo. Se dedican a producir y distribuir gases industriales y medicinales, los tres principales productos son oxígeno, nitrógeno y argón. La compañía cuenta con 5 plantas ubicadas en, Monterrey, Guadalajara, Campeche, Estado de México y Tijuana, pero Juan Pérez lidera la región noreste, donde se producen los distintos gases. La compañía cuenta con una gran cantidad de clientes del sector industrial y medicinal, el oxígeno se puede utilizar en la producción de metales, pero también se utiliza en los centros médicos.

Actualmente, la compañía cuenta con un equipo de planeadores, cada uno de ellos tiene asignada una planta y un producto. Diariamente, ellos ingresan al sistema, revisan el nivel de inventario de los clientes y la tendencia de consumo del producto, basados en su experiencia deciden si incluyen o no al cliente en la ruta del siguiente día. Por cuestiones operativas, el tanque del cliente nunca debe tener menos del 10 % de su capacidad y esto, es algo que deben considerar los planeadores. Una vez que se han seleccionado los clientes, el planeador decide de forma manual el orden de visita; si el producto es oxígeno y entre los clientes de la ruta se encuentra un centro médico, este deberá ser visitado primero sin importar la distancia. Cada que se visita a un cliente se busca llenar el tanque hasta la capacidad máxima.

El gerente sabe que la planeación manual puede llegar a generar incrementos en costos de distribución dado el factor humano y le gustaría automatizar el proceso de planeación y distribución para generar ahorros en la compañía. Además, cree que no es conveniente utilizar una tasa de consumo fija y considera que la planeación debería ser al menos para un periodo de 3 días y no diaria.

Para cada gas (oxígeno, nitrógeno y argón) se tiene el tipo de empresa; si es el Depot (Planta Monterrey), Hospital, del sector alimentario o industria. Para cada lugar se cuenta con sus coordenadas, el inventario inicial, la tasa de consumo diaria, la capacidad máxima y el costo de inventario.

II. Marco teórico

Uno de los retos más importantes para cualquier empresa es tener una buena planeación de distribución de bienes. El problema de ruteo de vehículos, o VRP por sus siglas en inglés (Vehicle Route Problem), es un problema de optimización que plantea la asignación adecuada de rutas para la distribución de mercancía desde un punto de origen a diferentes clientes utilizando una flota de vehículos. El objetivo del VRP es minimizar los costos totales de transporte y cumplir con los requerimientos de todos los clientes utilizando una ruta óptima para cada vehículo.

Una variante de los problemas VRP es el problema de ruteo-inventario, Inventory Routing Problem (IRP), el cual es una extensión del VRP, ya que el IRP involucra decisiones de ruteo e inventario. En [1] se aborda el problema IRP con prioridades y una flota heterogénea fija, donde se propone un modelo de programación donde se minimiza el costo total de la distribución. En este trabajo, se utilizan dos heurísticas (UMDA y ED) para abordar el problema, y se considera que se cuenta con un sólo vehículo de distribución.

III. Modelo propuesto

De las 29 empresas, 21 demandan oxígeno, 21 nitrógeno y 12 de argón. En esta aplicación, sólo se considerará el problema de la ruta de distribución del gas oxígeno para un periodo de 3 días.

En primer lugar, se abordó el problema de a qué empresas surtir cada uno de los 3 días, y obtenido esto, se procedió a optimizar la ruta entre ellas.

Al contar con la ubicación geoespacial de las empresas se implementó un script en lenguaje Python para obtener la matriz de distancias reales con ayuda de Google Maps ©.

III.1. Determinación de empresas a entregar cada día del periodo usando UMDA

La función objetivo a minimizar es el número de entregas. Cada propuesta de solución es una representación binaria de tamaño 21, donde 1 representa que se realiza el abastecimiento en la empresa y 0 en caso contrario. Para obtener el valor objetivo de cada solución propuesta de la población, se suman los valores binarios de ésta, de manera que se prioricen aquellas soluciones con menor cantidad de 1's. Para evitar que el resultado sea 0 asignaciones, al valor objetivo se le suma una penalización. Sea n_e el número de empresas totales, la penalización consiste en sumarle $\frac{n_e}{2}$ por cada vez que una empresa se quede con menos del 10 % de su capacidad total, y específicamente, si se queda con menos de 0 la penalización asignada es n_e .

III.2. Determinación de ruta para cada día usando DE y 2-Opt

La función objetivo a minimizar es la distancia total de la ruta asignada entre las locaciones que resultaron para cada día de implementar el algoritmo UMDA. Para encontrar la ruta más corta para cada día se utilizó una heurística de Evolución Diferencial (ED). El algoritmo se basa en generar

poblaciones a partir de una población inicial de tamaño dado, modificando a partir de un mecanismo de mutación de entre cuatro distintas y un método de recombinación, manteniendo el incumbente (elemento de la población con mejor valor objetivo) en la siguiente generación.

Para generar las posibles soluciones, se toma en cuenta que los hospitales son prioritarios, entonces si existe un hospital en la asignación del día dado, es preferente en la ruta.

Luego de obtener la mejor ruta generada por el ED, se implementó una mejora mediante el algoritmo 2-opt.

IV. Resultados

Para el algoritmo UMDA, se estableció un número de 500 iteraciones, poblaciones a generar de tamaño 20, con selección de 10, obteniendo los resultados de la Tabla 1.

Para el siguiente paso (encontrar la ruta de cada día), se aplicó el algoritmo ED con 100 iteraciones, población a generar de tamaño 10 en cada iteración, con factor de mutación 0.5 y constante de cruce 0.6. Posteriormente, a la ruta obtenida para cada día se le aplicó la mejora 2-OPT.

Se obtuvieron los resultados de las Tablas 2, 3, y 4.

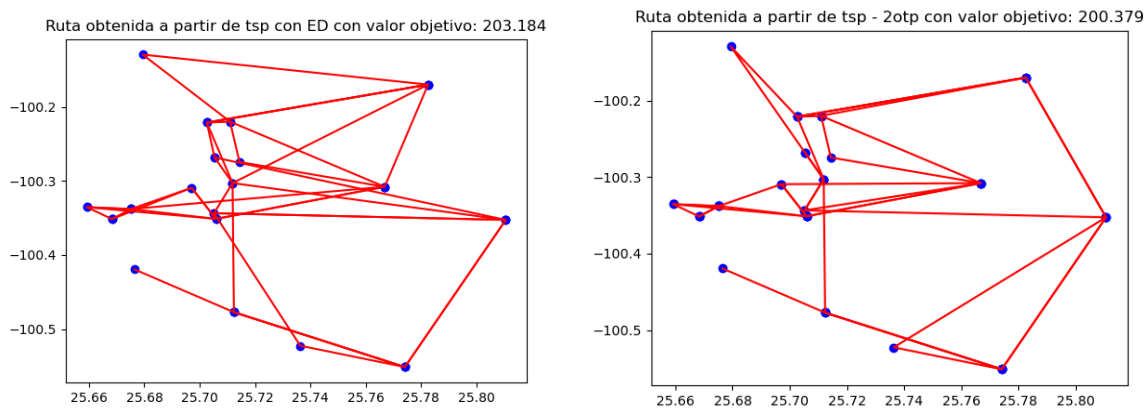


Figura 1. Comparación de ruta obtenida para el 3er día por ED versus la mejora por 2-Opt para 60 iteraciones

V. Conclusiones

El problema de distribución cuenta con un gran número de variables y factores que influyen en los diferentes costos. Es importante que entre las muchas opciones de mejora, se haga un análisis de decisión y toma de prioridades para delimitar el problema. En este caso, por ejemplo, se priorizó que ningún cliente se quede con menos del 10 % de su capacidad (tomando en cuenta la tasa de consumo y la restricción de llenar el tanque) por sobre el costo de transporte. Es cuando se tienen las locaciones a surtir por día, que se busca minimizar el recorrido entre ellas.

Al abordar el problema desde un enfoque heurístico, las soluciones se pueden obtener de una manera más rápida que elaborar un modelo matemático. Además, es una alternativa más de resolución a la planteada en el artículo [1].

VI. Referencias

Referencias

- [1] Avila-Torres, P. A., Arratia-Martinez, N. M., Ruiz-y-Ruiz, E. (2020). The inventory routing problem with priorities and fixed heterogeneous fleet. *Applied Sciences*, 10(10), 3502.

Tabla 1. Tabla que indica si una locación es abastecida de oxígeno en cada día del periodo.

Locación	Asignación		
	Día 1	Día 2	Día 3
Planta Monterrey	1	1	1
Hospital Metropolitano	0	1	0
Hospital Materno Infantil	0	1	1
Conchita	1	1	1
Hospital Universitario	1	1	1
Hospital Oca	0	1	1
Hospital Zambrano Helion	0	1	1
Hospitaria	1	1	1
Ternium Churubusco	0	1	1
Aceros y procesos Leija	1	0	0
Ventanas y herrajes la silla	0	0	0
Fainsa	1	1	1
Reaca	1	1	0
Soldaduras y superaleaciones	1	1	1
Manufactura GAMI	1	1	1
Ductos y manufacturas en acero	0	0	0
Alikali Industries	1	1	1
John Deere	0	1	0
Wolong Industries	1	0	0
Durosa	0	0	0
Vesuvius	1	1	1
Callaway	1	1	1

Tabla 2. Orden de la ruta del primer día y su distancia total

Ruta del día 1	
Planta Monterrey	0
Conchita	1
Hospital Universitario	2
Hospitaria	3
Aceros y procesos Leija	4
Fainsa	5
Reacsa	6
Soldaduras y superaleaciones	7
Manufactura GAMI	8
Alikali Industries	9
Wolong Industries	10
Vesuvius	11
Callaway	12
Distancia de la ruta	189.667

Tabla 3. Orden de la ruta del segundo día y su distancia total

Ruta del día 2	
Planta Monterrey	0
Hospital Metropolitano	1
Hospital Materno Infantil	2
Conchita	3
Hospital Universitario	4
Hospital Oca	5
Hospital Zambrano Helion	6
Hospitaria	7
Ternium Churubusco	8
Fainsa	9
Reacsa	10
Soldaduras y superaleaciones	11
Manufactura GAMI	12
Alikali Industries	13
John Deere	14
Vesuvius	15
Callaway	16
Distancia de la ruta	279.77

Tabla 4. Orden de la ruta del tercer día y su distancia total

Ruta del día 3	
Planta Monterrey	0
Hospital Materno Infantil	1
Conchita	2
Hospital Universitario	3
Hospital Oca	4
Hospital Zambrano Helion	5
Hospitaria	6
Ternium Churubusco	7
Fainsa	8
Soldaduras y superaleaciones	9
Manufactura GAMI	10
Alikali Industries	11
Vesuvius	12
Callaway	13
Distancia de la ruta	197.529