LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:
UN COMPROMISO PARA EL
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD
15 al 18 DE SEPTIEMBRE 2020
www.acofi.edu.co/eiei2020

ALGORITMO MULTIOBJETIVO DE TRANSPORTE Y ASIGNACIÓN, APLICADA A EMPRESAS DE LOS SECTORES AGROPECUARIO Y METALMECÁNICO

Jorge Bernardo Ramírez Zarta, Denicce Licht Ardila, Ana Lucía Paque Salazar

Corporación Universitaria del Huila
Neiva, Colombia

Resumen

El presente proyecto de investigación pretende establecer herramientas de optimización, a través de una solución genérica que pueda ser utilizado en empresas de los sectores económicos, agropecuario y metalmecánico, proponiendo un algoritmo multiobjetivo a los modelos de transporte y asignación; buscando no solo minimizar costos sino tiempo de envíos de los productos utilizados en el sector agropecuario, y, maximizar la calidad del servicio prestado en los contratos realizados con los clientes, en la asignación de tareas para el cargo del soldador en la empresa metalmencánica.

Por lo tanto, se tomaron como referencia datos estadísticos de las empresas objeto de investigación, respecto a la calidad del servicio y los tiempos de duración de los envíos a los diferentes almacenes. Así esto, el alcance del proyecto busca minimizar costos y tiempo, a su vez, maximizar la calidad del servicio prestado; aplicando el método inductivo, y, proponer un algoritmo multiobjetivo general.

Para hallar el mínimo costo y la máxima calidad en la asignación de tareas al cargo de soldador en la empresa metalmecánica, y, el mínimo costo y tiempo en el transporte de los envíos de la empresa del sector agropecuario, se inició con la aplicación del método Húngaro, seguido, la generación de soluciones aleatorias para establecer jerarquías, con el fin de evitar repetición entre números, y obtener las soluciones tipo A, que componen las soluciones óptimas extremas o multiobjetivo.

Por consiguiente, los resultados obtenidos indican que, para el sector metalmecánico se obtuvo una solución multiobjetivo conformado por un conjunto de 6 soluciones de costo y calidad en el servicio prestado y para el sector agropecuario, están dados por, un conjunto de 3 soluciones de costo y

tiempo en el transporte de los envíos, a los cuales se les asignó una prioridad porcentual sobre los objetivos, con el fin de elegir una única solución de acuerdo a las necesidades indicadas por la empresa.

Palabras clave: algoritmo multiobjetivo; transbordo; asignación

Abstract

This research project aims to establish optimization tools, through a generic solution that can be used in companies in the economic, agricultural and metal-mechanical sectors, proposing a multi-objective algorithm to the transport and allocation models; seeking not only to minimize costs but shipping time for products used in the agricultural sector, and maximize the quality of the service provided in contracts with customers, in the assignment of tasks to load the welder in the metalworking company.

Therefore, take as a reference the statistical data of the companies under investigation, regarding the quality of the service and the duration times of shipments to the different warehouses. Thus, the scope of the project seeks to reduce costs and time, in turn, maximize the quality of the service provided; applying the inductive method, and, propose a general multi-objective algorithm.

To find the minimum cost and the highest quality in the assignment of tasks to the position of welder in the metal-mechanical company, and the minimum cost and time in the transport of shipments from the company in the agricultural sector, it is registered with the application of the method Hungarian, followed, the generation of random solutions to establish hierarchies, in order to avoid repetition between numbers, and obtain the solutions type A, which compose the extreme or multi-objective optimal solutions.

Therefore, the results indicate it, for the metalworking sector a multi-objective solution was obtained consisting of a set of 6 cost and quality solutions in the service provided and by the agricultural sector, given by a set of 3 cost solutions. and the time in the transport of the shipments, which are assigned a percentage priority over the objectives, in order to choose a single solution according to the needs indicated by the company.

Keywords*: algorithm; multi-objective; transport; allocation*

1. Introducción

La investigación de operaciones genera modelos matemáticos para solucionar problemas de transporte; brinda soluciones de cómo determinar la manera óptima de transportar bienes por medio de rutas más económicas; y, la asignación de personas con diferentes habilidades a tareas, sabiendo que dichas habilidades afectan los costos del puesto de trabajo. Minimizar costos aporta valor a la cadena de abastecimiento, adicionando variables, se contribuye al mejoramiento

continuo; variables como; calidad del servicio y tiempo de envío, las cuales serán estudiadas en la investigación para logar maximizar y minimizar según sea el caso.

Los resultados obtenidos indican que, para el sector metalmecánico se obtuvo una solución multiobjetivo conformado por un conjunto de 6 soluciones de costo y calidad en el servicio, y, un conjunto de 3 soluciones de costo y tiempo en el transporte, a los cuales se les asignó una prioridad porcentual propuestos por las empresas.

2. Algoritmo de solución multiobjetivo

Los problemas de asignación utilizan variables binarias, 1 cuando la asignación debe realizarse y cero (0) en caso contrario. En el documento se utilizará el método húngaro, el cual se describe:

a. Identificar el menor valor de cada fila y restarlo a todos los elementos de la fila.
b. Restar el menor valor de cada columna a cada elemento de la columna.
c. Identificar y marcar los ceros con el menor número de filas y tachar los demás ceros.
d. Si el número de filas y columnas es menor que el número de filas, se resta el menor valor de los no marcados en los mismos no marcados y dicho valor se sumas en los valores de las intersecciones.
e. La asignación óptima se da cuando se tienen los ceros únicos en fila o columna.
f. Marcar las asignaciones sobre la tabla original de costo y la suma de estas asignaciones será el costo mínimo salarial total.

Para la variable maximizar calidad se procede así:

a. Identificar el mayor valor del cuadro; restar a dicho valor cada elemento del cuadro.
b. Resolver como un problema de minimización.
c. Solución extrema del problema.

Las soluciones extremas encontradas se complementan con los siguientes pasos:

a. Identificar el valor de calidad de la solución óptima en costo; e identificar el valor de costo en cada una de las soluciones de calidad.
b. En caso que existan soluciones múltiples en un objetivo (costo), se elige la que tenga mejor solución en el otro objetivo (calidad, tiempo de envío).

Para hallar el grupo de las mejores soluciones tipo A, se tiene:

d. Hallar el conjunto de soluciones aleatorias.
e. Graficar soluciones aleatorias y soluciones extremas.
f. Identificar las soluciones tipo A y marcar la ruta.
h. Establecer la prioridad porcentual para cada objetivo.

2.1. Propuesta de una alternativa

Para el prototipo que se plantea de transbordo multiobjetivo, se generan soluciones aleatorias, para hallar soluciones óptimas en tiempo y costo; la solución de tiempo, se optimiza sobre el objetivo costo, y, la solución de costo, se optimiza sobre el objetivo tiempo. Incluir el paso de permutación; cambiando el orden al procedimiento de optimización y generar soluciones tipo A, esto es, mejoran uno de los dos objetivos, o, mejoran en los dos objetivos.

3. Resultados

3.1. Minimización costos y maximización de la calidad en la prestación del servicio para la empresa Metalmecánica.

Tomando información de los contratos realizados por la empresa metalmecánica; para el proceso de ensamble de tubería, para el transporte de crudo entre dos centros de generación. Se escogen 10 soldadores para ocupar 8 vacantes y 2 suplencias. En la tabla 1 se registraron los salarios diarios en miles de pesos asignados para dicho contrato.

Tabla 1. Salarios diarios de los soldadores

Número de Soldadores	**Salario Vacantes disponibles ($ mil)**									
Z	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
S1	63	60	74	55	66	77	73	57	0	0
S2	60	68	46	80	60	70	68	64	0	0
S3	82	81	53	54	74	46	51	61	0	0
S4	49	46	51	51	56	59	49	60	0	0
S5	43	75	52	62	65	61	69	65	0	0
S6	72	61	43	45	59	76	74	46	0	0
S7	60	81	83	50	77	67	42	80	0	0
S8	49	80	47	57	64	52	42	77	0	0
S9	62	75	53	66	67	71	62	59	0	0
S10	66	57	49	82	77	71	60	68	0	0

Los resultados de la prueba de calidad aplicada a cada soldador, con una escala de 1 a 10, son tomados de la hoja de vida y de actividades teórico-prácticas, y se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Valores de calificación de prueba calidad.

C	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
S1	8	1	6	3	9	5	6	8	0	0
S2	8	1	5	9	1	6	6	4	0	0
S3	10	4	7	2	9	6	5	10	0	0
S4	1	5	8	6	3	7	9	9	0	0
S5	9	9	5	9	1	6	9	3	0	0
S6	10	8	6	7	3	10	7	3	0	0
S7	5	8	9	8	9	5	3	10	0	0
S8	8	10	5	1	7	1	8	8	0	0
eS9	8	7	3	5	7	1	8	6	0	0
S10	6	4	7	10	10	6	5	2	0	0

Tomando los datos de la tabla 1, y aplicando el método húngaro, se minimiza el costo. Los resultados se marcan en la tabla original (tabla 1), y se obtiene un costo mínimo salarial de 382 mil. Los soldadores 1 y 9 quedaron en la lista de suplentes. Los valores se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Asignación óptima de mínimo costo

Z	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
S1	63	60	74	55	66	77	73	57	0	0
S2	60	68	46	80	60	70	68	64	0	0
S3	82	81	53	54	74	46	51	61	0	0
S4	49	46	51	51	56	59	49	60	0	0
S5	43	75	52	62	65	61	69	65	0	0
S6	72	61	43	45	59	76	74	46	0	0
S7	60	81	83	50	77	67	42	80	0	0
S8	49	80	47	57	64	52	42	77	0	0
S9	62	75	53	66	67	71	62	59	0	0
S10	66	57	49	82	77	71	60	68	0	0

Para validar el valor del costo total, se hace uso del programa winqsb.

Método húngaro para los valores maximizar calidad.

Para hallar el algoritmo que maximice calidad, se utilizan los pasos para minimizar costo, con la condicionante de minimizar la distancia con el mayor valor, de los datos obtenidos de la prueba a los soldadores. El resultado se relaciona en la tabla 5.

Tabla 5. Resta entre el mayor de la tabla y cada valor de la celda.

I1	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
S1	2	9	4	7	1	5	4	2	10	10
S2	2	9	5	1	9	4	4	6	10	10
S3	0	6	3	8	1	4	5	0	10	10
S4	9	5	2	4	7	3	1	1	10	10
S5	1	1	5	1	9	4	1	7	10	10
S6	0	2	4	3	7	0	3	7	10	10
S7	5	2	1	2	1	5	7	0	10	10
S8	2	0	5	9	3	9	2	2	10	10
S9	2	3	7	5	3	9	2	4	10	10
S10	4	6	3	0	0	4	5	8	10	10

Los valores resultantes para maximizar calidad, se corroboran en el programa winqsb. Aplicando el método húngaro se obtienen 6 (seis) soluciones óptimas para maximizar calidad, la solución 6, se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Solución óptima 6. Valor total de calidad

sol6	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
S1	8	1	6	3	9	5	6	8	0	0
S2	8	1	5	9	1	6	6	4	0	0
S3	10	4	7	2	9	6	5	10	0	0
S4	1	5	8	6	3	7	9	9	0	0
S5	9	9	5	9	1	6	9	3	0	0
S6	10	8	6	7	3	10	7	3	0	0
S7	5	8	9	8	9	5	3	10	0	0

S8	8	10	5	1	7	1	8	8	0	0
S9	8	7	3	5	7	1	8	6	0	0
S10	6	4	7	10	10	6	5	2	0	0

3.1.2. Soluciones Extremas del problema de asignación multiobjetivo

La solución extrema de mínimo costo se halla marcando los valores en la tabla correspondiente, obteniendo un valor de (Z,C) = (382,47). Y, la otra solución extrema se halla comparando el valor de costo de cada una de las soluciones óptimas en calidad, y se elige la que tenga menor costo. Las soluciones extremas de máxima calidad se establecen así:

Solución 1 (Z,C) = (540,76), Solución 2 (Z,C) = (586,76), Solución 3 (Z,C) = (598,76)
Solución 4 (Z,C) = (607, 76), Solución 5 (Z,C) = (585,76), Solución 6 (Z,C) = (549,76)
Así esto, la solución extrema de máxima calidad es la solución 1.

Generación de soluciones Aleatorias

El algoritmo para la asignación de los soldadores, se realiza de manera empírica, con enfoque probabilístico, se ponen números de 1 a 10 en cada columna; para evitar que se puedan repetir. El tamaño de la población de las soluciones aleatorias es el siguiente:

N= 10P8= 1.814.400; el Nivel de confianza Z=1,96, la Probabilidad de acierto: P=0,5, el Error de muestreo: E=0,07; y el tamaño de muestra: n=196.
Para descartar las soluciones de mayor costo y menor calidad, se hallaron 200 soluciones aleatorias para prever la baja probabilidad que se repitan, y se situaron jerárquicamente con cada serie, extendido con números del 1 al 10. Las soluciones se muestran en la figura 1.

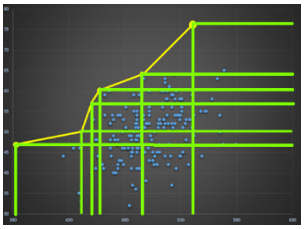

Figura 1. Soluciones multiobjetivo tipo A

A dichas soluciones se asignan las prioridades dadas por la empresa, minimizar costo en 60% y maximizar calidad en 40%. En la tabla 7 se describe de la siguiente manera:

Tabla 7. Soluciones óptimas multiobjetivo y determinación de prioridades.

% COSTO	COSTO	CALIDAD	% CALIDAD
100%	382	47	%0
80%	441	50	%20
60%	456	57	%40
40%	457	60	%60
20%	496	64	%80
0%	540	76	%100

Estas soluciones son incomparables, ya que, si tienen menor costo, tendrán mayor calidad y viceversa.

3.2. Análisis de costo mínimo y tiempo mínimo de transporte

Respecto a la empresa del sector agropecuario, la cadena de suministro inicia con (2) almacenes, que reciben diariamente y abastecen sus almacenes, que a su vez abastecen a otros, el almacén principal (F1) tiene un programa de suministro de 2460 productos y el almacén principal (F2) de 1850. Las demandas de los almacenes, se denotan en cada nodo; los costos y el tiempo de envío se describen al frente de cada ruta. Existen almacenes con capacidad limitada; señalados de color rojo. Ejemplificando, la ruta de C a G, describe el envío con un valor de 500 pesos y un tiempo de 35 minutos.

3.1.2. Minimizar costo y tiempo de transporte de los productos

Para minimiza el costo de transporte se hace uso de Solver, se incluyen datos para "un modelo lineal" y conseguir la solución óptima de costo de transporte. De la misma forma, para la solución de tiempo mínimo, se adiciona una columna binaria; 1 (uno) si la variable es distinta de cero, de lo contrario, 0 (cero) y, se ejecuta solver para obtener la solución óptima de tiempo de transporte.

3.1.2.1 Optimización de Mínimo tiempo con respecto al costo.

Las soluciones de mínimo costo y tiempo obtenidas de solver, se designan como soluciones iniciales y a partir de ellas se aplica el método de optimización para generar soluciones tipo A, y así mejorar al menos uno de los objetivos. Este proceso se desarrolla así:

a. Con los datos de solver en mínimo tiempo, se construye la red, las rutas que solver muestre valor cero (0) se denominan variables no básicas y para las de mayor valor a cero (0), variables básicas.

b. Haciendo uso del método símplex, el nuevo valor del objetivo en costo es Z=3517-3(510)= 33627 con un tiempo t en minutos de 330. Para el ciclo no dirigido C-D-F2-C el valor de Z= 25.807 y t=366. La figura 2 esquematiza la red de la variable no básica F2 D. considerada como solución óptima de costo.

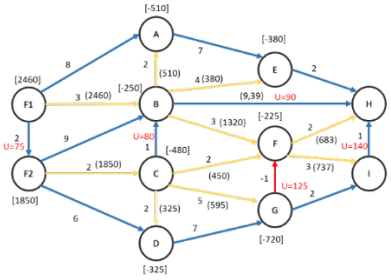

Figura 2. Iteración 7. Solución óptima de costo.

c. El ciclo no dirigido F1-F2-C-F-B-F1 genera otra solución óptima de costo, con Z= 25.807 y t= 381, la red se representa en la figura 3.

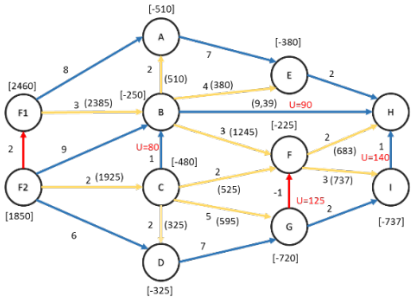

Figura 3. Iteración 8. Solución 2 óptima de costo.

Las iteraciones 7 y 8 representan el mínimo costo. La solución generada en solver se considera solución óptima, dado que, ningún ciclo tuvo variables negativas. La solución 2 óptima de costo, se da porque uno de los ciclos tuvo valor de cero.

3.1.2.2 Optimizar solución de mínimo costo con respecto al objetivo tiempo.

Sobre la solución óptima de costo, (Figura 2. Iteración 7) se optimiza el tiempo para minimizar costo. Pero, no se usa el mismo criterio de la variable que entra o sale, por la diferencia en la naturaleza entre los objetivos tiempo y costo. Para el ciclo no dirigido D G C D se tiene Z= 28.187 y t = 352, el ciclo F-G-C-F el valor de Z= 30.837 y t=302 se considera solución óptima. La ruta generada se muestra en la figura 4.

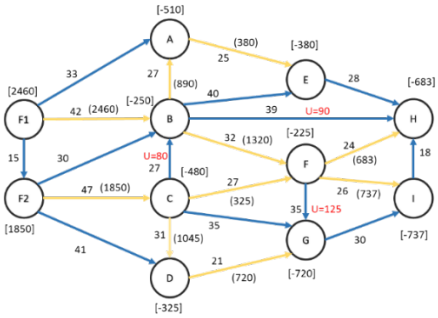

Figura 4. Iteración 3 de tiempo. Solución óptima.

3.1.2.3. Complementar pasos anteriores y permutar orden en la optimización.

La solución de mínimo tiempo que arrojó solver no fue considerada solución óptima, al complementar la solución óptima de tiempo y optimizar con respecto a costo, la iteración 3 muestra que, los ciclos de las variables no básicas no generan variación de tiempo negativo. Aplicando permutación, se hallan otras soluciones, se toman 4 ciclos negativos, el número de soluciones posibles fact(4)=4x3x2x1=24 y escogen las soluciones de menor costo y tiempo, las soluciones de esta permutación son: para Z=27.957 el tiempo; t de 316; para Z=26.057, t= 331, y para Z=28.937, t =317.

3.1.2.4. Soluciones de primera clase multiobjetivo.

En la tabla 8 se muestran los resultados de cada una de las iteraciones de costo y tiempo mínimo.

Tabla 8. Soluciones factibles

Costo total del envío (Z)	Tiempo total de envío (t)	Costo total del envío (Z)	Tiempo total de envío (t)
30837	302	28827	371
30087	337	29307	344
28187	352	33627	330
25807	381	35157	336
26457	376	25807	366
26707	341	27957	316
26867	368	26057	331
28937	317		

Los datos de la tabla 9, se muestran en la figura 5, el eje Y toma el valor de tiempo, y, el eje X de costo.

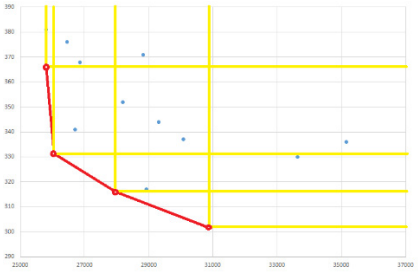

Figura 5. Soluciones multiobjetivo y descarte de soluciones

Los datos de priorización de las soluciones se muestran en la tabla 11; la empresa propuso porcentajes del 66% sobre el costo, la nueva red se esboza en la figura 6:

Tabla 10. Porcentaje de priorización

% Costo (Z)	Costo total del envío (Z)	Tiempo total de envío (t)	% Tiempo
100%	25807	336	0%
66.6%	26057	331	33.33%
33.33%	27957	316	66.66%
0%	30837	302	100%

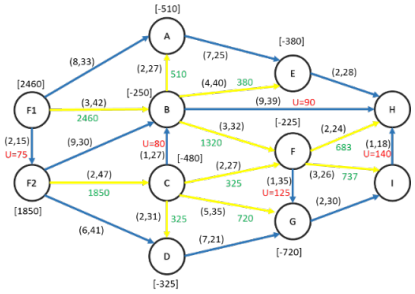

Figura 6. Solución multiobjetivo prioridad costo 66.66%.

4. Conclusiones

Gran parte de los problemas abarcados en los referentes bibliográficos sobre optimización, dedican sus esfuerzos en el desarrollo de métodos exactos para hallar soluciones óptimas en relación con un solo objetivo. Pero para muchos casos, estas situaciones pueden alejarse de la realidad, las empresas buscan una buena solución que tengan en cuenta objetivos alternos, que abonen valor agregado para los clientes. El algoritmo multiobjetivo propuesto, permite determinar un conjunto de soluciones que son destacadas por ser las mejores dentro de un grupo significativo de soluciones, y, entre ellas no se pueden comparar. Para elegir una única solución se deben asignar prioridades sobre los objetivos, que, para la investigación ambas empresas escogieron la prioridad 60% en costo y 40 % en calidad.

5. Referencias

[1] Alzate. (2018). Investigación de Operaciones. Ediciones de la U, 160-174.
[2] Hillier, F. S. y Lieberman G. J. (2010). Introducción a la investigación de operaciones. Mc Graw Hill, 148-178.
[3] Render. (2009). Principios de la administración de operaciones. Pearson.
[4] Schroeder. (2010). Administración de operaciones. Conceptos y casos contemporáneos. Mc Graw Hill Interamericana.
[5] Jacobs F. y Chase R. (2018). Administración de operaciones. Mc Graw Hill interamericana.
[6] Cayle J. (2018). Administración de la cadena de suministros. Una perspectiva logística. Pearson.

Sobre los autores

- **Jorge Bernardo Ramírez Zarta**. Magister en matemáticas aplicada Universidad EAFIT, Docente tiempo Completo. jorge.ramirez@corhuila.edu.co.
- **Denicce Licht Ardila**. Magister en gerencia cadenas de abastecimiento Universidad EAN. Docente tiempo Completo. denicce.ardila@corhuila.edu.co.
- **Ana Lucía Paque Salazar**. Magister en gerencia cadenas de abastecimiento Universidad EAN. Coordinador programa Ingeniería Industrial. ana.paque@corhuila.edu.co.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)