

APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN POR METAS EN LA DISTRIBUCIÓN DE SERVICIOS ENTRE EMPRESAS OPERADORAS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO

Application of the goal programming in the distribution of services between companies of the system of massive transport

RESUMEN

En este artículo se presenta una de las importantes aplicaciones que tienen los modelos de optimización dirigido hacia la distribución de servicios entre empresas operadoras del sistema de transporte masivo (SITM), esta aplicación se desarrolla mediante la programación por metas u objetivos, la cual permite obtener resultados dirigidos al cumplimiento de varias metas que proponen los entes participantes. Es así como en el desarrollo final del artículo se implementa un modelo de programación por metas al SITM Megabús obteniendo resultados óptimos para las dos empresas operadoras con base a sus objetivos previamente establecidos.

PALABRAS CLAVES: Investigación de operaciones, programación lineal, programación por metas sistema, transporte masivo.

ABSTRACT

This article presents one of the most important applications featured in the optimization models directed to the distribution of services among the massive transport system operators (SMT). The application was developed through the goals and aims programming, which leads to the achievement of the goals proposed by the participants. Thus, a model of programming by aims applied to the STM Megabus system is presented at the end of the article, which produces optimal results for both operating companies, based on their previously established goals.

KEYWORDS: goal programming, linear programming, massive transport, operations research, system.

JUAN FERNANDO LOPEZ

Magíster en Investigación Operativa y Estadística.
Ingeniero Industrial.
Universidad Tecnológica de Pereira
jflopez@utp.edu.co

SERGIO FERNÁNDEZ HENAO

Ingeniero Industrial.
Estudiante de Maestría en Investigación Operativa y Estadística.
Universidad Tecnológica de Pereira
Docente Transitorio.
sfernandes@utp.edu.co

MARCELA MARÍA MORALES

Ingeniero Industrial.
Estudiante de Maestría en Investigación Operativa y Estadística.
Universidad Tecnológica de Pereira
Matela1@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN.

En la planeación y operación de los sistemas de transporte masivo existe una jerarquía de problemas interrelacionados entre sí, que operan desde el nivel estratégico hasta el operacional. Dichos problemas son: El diseño de la red de rutas, la determinación de frecuencias y horarios de despachos, la distribución de tablas entre empresas operadoras (cada tabla está compuesta por ciclos que debe realizar el bus articulado desde un origen *i* hasta un destino *j*, resaltando que cada ciclo se conoce como un **servicio**), la asignación de flota a cada servicio y la asignación de personal y recursos disponibles. El modelo estudiado en este artículo se enfoca en la distribución de tablas entre empresas operadoras del SITM, el cual surge como respuesta a dicha necesidad en Promasivo S.A. empresa operadora de Megabús S.A. (Promasivo S.A. e Integra S.A. son las empresas de carácter privado operadoras del sistema de transporte con base en las directrices impartidas por su ente gestor Megabús S.A.) Cabe anotar que todos estos problemas deben trabajarse de manera conjunta para obtener una solución óptima de todo el sistema, entendiéndose este modelo como un módulo de uno más complejo.

Frecuentemente en la práctica, las salidas de cada uno de estos problemas se utilizan como entrada en el siguiente.

En lo que respecta a la distribución de las tablas, las empresas operadoras requieren de una herramienta de decisión que les permita obtener una asignación óptima, de tal forma, que los entes participantes queden satisfechos con los resultados en términos de minimización de costos y maximización de utilidades. En la búsqueda de una solución adecuada para el problema de la distribución de las tablas entre las empresas operadoras del SITM, se implementó un modelo de optimización basado en la técnica de "Programación Por Metas". Es así como en el desarrollo del modelo descrito en este artículo se trabaja con los siguientes objetivos:

- Minimizar el tiempo de operación de cada vehículo.
- Minimizar el Kilometraje vacío de los vehículos (esto se refiere al recorrido que hacen los articulados sin pasajeros desde un destino *j* hacia sus patios o parqueaderos).

- Maximizar el acercamiento al porcentaje del Kilometraje asignado para el respectivo operador.
- Cumplimiento del número de tablas asignadas.

2. CONCEPTOS GENERALES.

El gobierno nacional en su análisis y búsqueda de soluciones para problemáticas de carácter social y económico, detecta el transporte público como un servicio básico y una de las principales problemáticas que hay que resolver, en pro de esto, a partir del año 2002 toma como iniciativa implementar Sistemas de Transporte Masivo en poblaciones mayores a 500.000 habitantes con alto nivel de desarrollo y crecimiento. Las Regiones que se encuentran en proceso de implementación de estos Sistemas son:

REGIÓN	SISTEMA
Área Metropolitana de Bucaramanga	METROLINEA
Área Metropolitana de Barranquilla	TRANSMETRO
Área Metropolitana de Pereira - Dosquebradas - La Virginia	MEGABÚS
Bogotá-Soacha	TRANSMILENIO
Cartagena	TRANSCARIBE
Cali	MIO
Valle de Aburrá-Medellín	METROPLÚS

Tabla 1. Regiones colombianas en donde se implementará el SITM.

En el año 2006 se pone en marcha el SITM Megabús en la ciudad de Pereira de manera parcial, respondiendo a una política de Gobierno Nacional, que nació con el fin de mejorar la movilidad e iniciar procesos de transformación urbana.

Megabús S.A. como ente gestor determina el plan de servicios a ejecutar por las empresas operadoras: Promasivo S.A. e Integra S.A. las cuales ponen a disposición su parque automotor, negociando entre ellas los servicios específicos que cada una prestará optimizando su bienestar con base a los objetivos citados en el numeral anterior.

Es por eso que se presenta la necesidad de implementar una herramienta de decisión que se apoye en bases sólidas en lo que respecta a sistemas de optimización, de tal forma la programación por objetivos se convierte en la herramienta clave para dar soluciones que obtengan un alto nivel de satisfacción de los participantes mencionados anteriormente.

3. PROGRAMACIÓN LINEAL.¹

3.1. Introducción.

Es considerada entre los avances científicos más importantes de mediados del siglo XX. Debe su auge en gran parte al desarrollo de los sistemas computacionales.

Un modelo de programación lineal proporciona un método eficiente para determinar una decisión óptima,

(o una estrategia óptima o un plan óptimo) escogida de un gran número de decisiones posibles.

En los problemas de Programación Lineal, el objetivo es la maximización o minimización de alguna cantidad.

3.2. Desarrollo.

Construcción de los Modelos de Programación Lineal²

De forma obligatoria se deben cumplir los siguientes requerimientos para construir un modelo de Programación Lineal.

- Requerimiento 1. Función objetivo. (F.O).

Debe haber un objetivo (o meta) que la optimización desea alcanzar

- Requerimiento 2. Restricciones y decisiones.

Debe haber cursos o alternativas de acción o decisiones

- Requerimiento 3. La F.O y las restricciones son lineales.

Deben utilizarse solamente ecuaciones lineales o desigualdades lineales.

Modelo standard de Programación Lineal.

Función Objetivo:

$$\text{Optimizar } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_n X_n.$$

Sujeta a: (restricciones)

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m$$

Con

$$X_1, X_2, \dots, X_n \geq 0$$

Donde :

X_j : variables de decisión, $j = 1, 2, \dots, n$.

n : número de variables.

m : número de restricciones.

a_{ij}, b_i, c_j constantes, $i = 1, 2, \dots, m$.

4. PROGRAMACIÓN POR METAS.³

La mayoría de los modelos de optimización, bien sean determinísticos o probabilísticos, o bien deductivos e inductivos, consideran **una** sola función objetivo (un solo propósito) o sea una sola meta (minimizar costos, tiempos o maximizar utilidades).

Pero muy frecuentemente los problemas de decisión de las organizaciones productoras de bienes y servicios

tienen objetivos y metas **múltiples** que son conflictivos entre sí. Para esto se diseñó la Programación con Metas Múltiples, en las cuales se puede jerarquizar y priorizar las diferentes metas intervinientes en el modelo.

La programación multiobjetivo (por metas u objetivos) constituye un enfoque multicriterio de gran potencialidad cuando el contexto decisional está definido por una serie de objetivos a optimizar que deben de satisfacer un determinado conjunto de restricciones. Como la optimización simultánea de todos los objetivos es usualmente imposible, pues en la vida real entre los objetivos que pretende optimizar un centro decisor suele existir un cierto grado de conflicto el enfoque multiobjetivo en vez de intentar determinar un óptimo existente pretende establecer el conjunto de soluciones eficientes u óptimas.⁴

5. APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN POR METAS AL STM MAGABÚS S.A.

Como se mencionó en el numeral 1 y 2 de este artículo, es de vital importancia contar con una herramienta de gestión que permita establecer una distribución óptima de servicios entre las empresas operadoras del SITM, y para ello es necesario establecer unas metas claras que se quieren lograr teniendo en cuenta las restricciones que demanda el sistema, para ello se utilizó el siguiente modelo de programación por metas:

• **Definición de Variables:**

$$X_i = \begin{cases} 0 & \text{No se asigna a Promasivo} \\ 1 & \text{Se asigna a Promasivo} \end{cases}$$

$$Y_i = \begin{cases} 0 & \text{No se asigna a Integra} \\ 1 & \text{Se asigna a Integra} \end{cases}$$

Donde $i=1,2,\dots,32$

• **Metas:**

1. Minimizar Kilometraje en vacío (Kmv)

$$MinZ = \sum_{i=1}^{32} Kmv_i X_i$$

2. Minimizar tiempos de operación de vehículos

$$MinZ = \sum_{i=1}^{32} t_i X_i$$

3. Minimizar tablas partidas (Se entiende por tabla partida un servicio discontinuo, es decir que el articulado realizará un parte en la jornada de la mañana y el resto en otra jornada “tarde o noche”, esto ocasiona un aumento en el Kmv y por ende

disminución en las utilidades que proporciona una tabla normal)

Se le asigno 1 a las tablas partidas y 0.5 a las completas

$$Min Z = 1 (X1 + X4 + X6 + X9 + X12 + X15 + X17 + X20 + X22) + 0.5 (X2 + X3 + X5 + X7 + X8 + X10 + X11 + X13 + X14 + X16 + X18 + X19 + X21 + X22 + X23 + X24 + X25 + X26 + X27 + X28 + X29 + X30 + X31 + X32)$$

• **Restricciones:**

1. Porcentaje de Kilometraje Asignado. (Kmc)

$$\%Operador1(\sum_{i=1}^n Kmc_i)$$

$$\%Operador2(\sum_{i=1}^n Kmc_i)$$

2. Número de tablas asignadas.

$$\%Operador1 * (n)$$

$$\%Operador2 * (n)$$

3. No Negatividad.

$X_i, Y_i = (0,1)$ variables binarias

5.1. Resultados.

Al implementar el modelo anterior en una distribución de servicios para un día particular en la empresa Megabús S.A., se obtuvo la siguiente asignación para las dos empresas operadoras Promasivo S.A. e Integra S.A. con base a una tabla de 32 servicios:

La función Objetivo da como solución:

- Para la primera meta “Minimizar Kilometraje en vacío (Kmv)” todas las tablas elegidas para el operador 1 “Promasivo S.A” inician su recorrido en el aeropuerto y finalizan en el mismo lugar cumpliendo con el objetivo ya que es el intercambiador más cercano a sus patios y por ende su recorrido en vacío será mínimo.
- Para la segunda meta “Minimizar tiempos de operación de vehículos” el modelo eligió las tablas con tiempos mínimos de operación. (Ver tabla 2)
- Para la meta “Minimizar las tablas partidas” el modelo eligió 4 de las 9 cumpliendo con lo esperado.

Restricciones:

- Porcentaje de Km. Asignado.

$$0.5686(\sum_{i=1}^{32} Kmc)$$

$$0.4314 \left(\sum_{i=1}^{32} Kmc \right)$$

Es decir que de un total de 7901.8 kilómetros comerciales al operador 1 “Promasivo S.A.” le corresponde 4492.96 Km. y el operador 2 “Integra S.A.” 3408.84 Km.

- Número de tablas asignadas.

$$\sum_{i=1}^{32} X_i = 0.5686(32)$$

$$\sum_{i=1}^{32} Y_i = 0.4314(32)$$

Lo que indica que al operador 1 “Promasivo S.A.” se le asignarán 18 tablas y al operador 2 “Integra S.A.” 14 tablas.

En la siguiente tabla se presenta la distribución específica de los servicios que arrojó el modelo, aclarando que las filas sombreadas son los servicios que deben ser asignados a la empresa operadora Promasivo S.A. y las otras filas a la empresa operadora Integra S.A.

X	Tabla	Ruta	Origen	Destino	Km. Comerciales	T en Opera (min.)	Tipo de Tabla	Km. En Vacío
					kmc	t		Kmv
1	1	T1	D/das	D/das	124.25	420	Partida	11,975
2	2	T1	D/das	D/das	284	960	Completa	11,975
3	3	T1	D/das	D/das	319.5	1080	Completa	11,975
4	4	T1	Aeropto	Aeropto	124.25	420	Partida	2,9
5	5	T1	D/das	D/das	319.5	1080	Completa	11,975
6	6	T1	Aeropto	Aeropto	142	480	Partida	2,9
7	7	T1	D/das	D/das	319.5	1080	Completa	11,975
8	8	T1	Aeropto	Aeropto	319.5	1080	Completa	2,9
9	9	T1	D/das	D/das	142	480	Partida	11,975
10	10	T1	Aeropto	Aeropto	319.5	1080	Completa	2,9
11	11	T1	Aeropto	Aeropto	319.5	1080	Completa	2,9
12	12	T1	Aeropto	Aeropto	106.5	360	Partida	2,9
13	1	T2	D/das	D/das	277.6	960	Completa	11,975
14	2	T2	D/das	D/das	312.3	1080	Completa	11,975
15	3	T2	D/das	D/das	138.8	480	Partida	11,975
16	4	T2	Aeropto	Aeropto	260.25	900	Completa	2,9
17	5	T2	D/das	D/das	156.15	540	Partida	11,975
18	6	T2	Aeropto	Aeropto	312.3	1080	Completa	2,9
19	7	T2	D/das	D/das	294.95	1020	Completa	11,975
20	8	T2	Aeropto	Aeropto	121.45	420	Partida	2,9
21	9	T2	D/das	D/das	260.25	900	Completa	11,975
22	10	T2	Aeropto	Aeropto	156.15	540	Partida	2,9
23	11	T2	Aeropto	Aeropto	294.95	1020	Completa	2,9
24	12	T2	Aeropto	Aeropto	260.25	900	Completa	2,9

25	1	T3	Aeropto	Aeropto	291.6	1080	Completa	2,9
26	2	T3	Aeropto	Aeropto	291.6	1080	Completa	2,9
27	3	T3	Aeropto	Aeropto	291.6	1080	Completa	2,9
28	4	T3	Aeropto	Aeropto	280.8	1040	Completa	2,9
29	5	T3	Aeropto	Aeropto	259.2	960	Completa	2,9
30	6	T3	Aeropto	Aeropto	259.2	960	Completa	2,9
31	7	T3	Aeropto	Aeropto	283.2	960	Completa	2,9
32	8	T3	Aeropto	Aeropto	259.2	960	Completa	2,9
					7901.8	27560		

Tabla 2. Resultados de la asignación óptima aplicando programación por metas.

De la anterior tabla se aclara que las rutas T1, T2 y T3 hacen referencia a las troncales de servicio, los kilómetros comerciales citan la distancia recorrida por cada una de las tablas y su respectivo tiempo de operación aparece en la columna siguiente, los kilómetros en vacío es la distancia que recorren los articulados sin prestar servicio.

6. CONCLUSIONES.

Los sistemas de transporte masivo presentan una gran cantidad de restricciones en sus distribuciones de servicio, al igual que pretenden cumplir con objetivos múltiples que satisfagan las empresas operadoras con el fin común de minimizar costos y maximizar utilidades, de tal forma la programación lineal no es suficiente para lograr resultados acordes a dicha situación y por ende se emplea la programación por metas que abarca todos los conceptos de la lineal y refuerza su modelo con la posibilidad de involucrar en su función objetivo todas las metas que las entidades crean convenientes para conseguir dichos objetivos comunes.

La programación por metas es un modelo de optimización altamente efectivo cuando se busca obtener resultados factibles en determinadas operaciones que involucren varios objetivos a la vez.

Con la implementación de este modelo en el sistema de transporte masivo Megabús S.A. se logró optimizar la distribución de los 32 servicios para un día normal de operación entre las dos empresas operadoras del sistema logrando para cada una el cumplimiento de sus objetivos.

Con la aplicación de este modelo y su correspondiente asignación se puede observar en la tabla 2 como se cumple con la meta de minimizar kilometraje en vacío ya que todas las tablas asignadas a la empresa Promasivo S.A. tienen tanto su origen como destino el intercambiador cuba (Aeropuerto), el cual es el más cercano a sus patios.

En cuanto a la meta de minimizar el tiempo de operación, el porcentaje de utilización se logra tener proporcional al número de kilometraje recorrido garantizando el cumplimiento de la misma.

También se logro minimizar la cantidad de asignación de tablas partidas ya que para la empresa Promasivo S.A. le correspondió 4 y a Integra S.A. le correspondió 5.

El modelo de programación por metas implementado en este artículo se puede seguir aplicando diariamente en la distribución de los servicios entre las empresas operadoras de SITM. ya que cumple con las expectativas planteadas en el numeral 1.

7. BIBLIOGRAFÍA.

[1] HILLIER, Y LIBERMAN. Introducción a la investigación de operaciones edit. Mc. Graw. Hill 1999.

[2] TAHA. H. Investigación de Operaciones. Edit. Prentice Hall. 1999

[3] EPPEN, G. D.; GOULD, F. J. Y SCHMIDT, C. P. Investigación de Operaciones en ciencia Administrativa. Edit. Prentice Hall. 1999.

[4] BAZARAA ,M, ; HARVIS, J. Programación Lineal y Flujo en Redes. Edit. Limusa.

[5]DAVIS R. Mckeown, P. Modelos cuantitativos en administración , Edit. Iberoamericana 1998.

[6]AVIEL, Goldany. Mathematical Programmin For Industrial Engeneers: Marcel Dekker Inc.New. York.1996

[7] G. HADLEY.Nolinear Programming.Adison Wesley. Reading 1964
Interscien-ce.USA:1970