

Optimización de asignación de personal en una ruta de transporte público de pasajeros

Optimization of staff allocation on a public passenger transport route

Joshua Giovanni Olguín Barrera*,
Instituto Politécnico Nacional, UPIICSA, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, México
job_009@hotmail.com

Martín Salvador Ulloa Márquez,
Instituto Politécnico Nacional, UPIICSA, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, México
salvadorsma4@gmail.com

Olga Vladimirovna Panteleeva,
Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, México
ac12810@chapingo.mx

Recibido 05, marzo, 2019

Aceptado 31, julio, 2019

Resumen

En esta investigación se aborda una aplicación al problema tipo timetabling, la investigación se llevó a cabo en una empresa que se dedica al transporte público de pasajeros. En la investigación se propone una alternativa para la organización que disminuye la falta de personal y mejora la asignación de unidades en cada ruta. El modelo de optimización propuesto de programación lineal entera considera los costos de operación con respecto al consumo de combustible, con base en datos históricos de la demanda de pasajeros en cada ruta y la capacidad actual de la empresa maximizando la utilidad. La aplicación se automatizó con una macro en visual Basic que resuelve el modelo permitiendo a la gerencia ofrecer una solución ante diferentes escenarios en los que el precio del combustible y la capacidad de la empresa pueden variar.

Palabras clave: maximización de utilidades, programación lineal entera, empresa de transporte público de pasajeros.

Abstract

This investigation addresses an application to the timetabling problem, the investigation was carried out in a company that is dedicated to the public transport of passengers. The research proposes an alternative for the organization that reduces the lack of personnel and improves the allocation of units on each route. The proposed optimization model of entire linear programming considers operating costs in respect of fuel consumption, based on historical data on passenger demand on each route and the company's current capacity, maximizing utility. The application was automated with a Visual Basic macro that solves the model allowing management to offer a solution to different scenarios in which the price of fuel and the capacity of the company can vary.

Keywords: Profit maximization, Integer Linear Programming, public passenger transport Enterprise.

1. INTRODUCCIÓN

Es trascendental reconocer que las empresas persiguen en todo momento una toma de decisiones que les genere beneficios económicos, sin embargo, las opciones pertinentes generalmente encuentran restricciones complejas, por tanto, se necesitan herramientas que faciliten el planteamiento de la situación y que arrojen soluciones factibles a la problemática. La programación lineal permite encontrar soluciones a problemáticas modeladas matemáticamente bajo un conjunto de restricciones que contribuyan con la toma de decisiones en las empresas (Bermúdez Colina, 2011).

Las decisiones que las empresas toman deben responder tanto a factores internos como a factores externos. En cuanto a los factores internos están todos aquellos que conciernen a los integrantes de la organización y que son susceptibles de ser modificados a conveniencia de la misma, en cambio, los factores externos son más difíciles de controlar, pues responden a situaciones macroeconómicas del entorno en el que se desempeña la organización y, generalmente, están en manos de los gobernantes.

En la investigación se estudia el caso de una empresa de transporte público de pasajeros que opera entre la Ciudad de México y el Estado de México, donde los factores internos corresponden a la capacidad de la empresa para cubrir la demanda de las rutas que cubre y la infraestructura que posee, así como a la política de búsqueda de maximización de utilidades, mientras que, como factor externo se considera el costo del combustible. La empresa cuenta con una flotilla de autobuses de dos marcas diferentes cuya operación está limitada por la disponibilidad de personal, y por los rendimientos en el consumo de combustible dependiendo de la marca y la ruta a la que se asigne cada unidad. La problemática se aborda planteando un modelo Timetabling que permita la asignación de autobuses en las rutas en las que opera la empresa de tal manera que se cumpla con los requerimientos de la dirección de maximización de utilidades y en cuanto a cobertura de demanda.

En la investigación de González-Oropeza (2005) se describe una manera de evaluar el consumo de combustible en el auto transporte, resultado que fue considerado en esta investigación para evaluar el consumo del combustible.

Por otro lado, el costo de operación es un factor importante a considerar a la hora de diseñar las rutas de transporte, según Bermeo Muñoz & Calderón Sotero (2008), es de hecho el principal factor a considerar. La presente investigación toma en cuenta el factor del precio del combustible, ya que, al ser una empresa dedicada al transporte público, este es uno de los principales costos a considerar a la hora de asignar vehículos a las distintas rutas; en el estudio de Marchese & Golato (2011) se ha logrado estimar en función del tipo de vehículo y el consumo de combustible. Otros factores a considerar son la demanda de pasajeros como lo describen en su investigación de Cruz Ríos (2014) y la capacidad de la empresa.

En el trabajo de Tlapalama, García, Núñez, Cruz & Muñoz, (2010) se realiza la asignación de vehículos de acuerdo con la marca del vehículo y el rendimiento de combustible por kilómetro recorrido. Mientras que en la investigación de Bermeo & Calderón (2008) aplican un criterio de selección de vehículos considerando varios factores y uno de ellos es el rendimiento del combustible en diferentes horas del día.

Por otra parte, en la investigación de Morales González (2016) se analiza si la oferta del transporte público es excesiva y se auxilian de herramientas como el análisis FODA, cuestionarios y etnografía. En esta investigación el análisis de la oferta es de vital importancia ya que una oferta excesiva puede ocasionar pérdidas monetarias al tener costos de más o innecesarios.

En el trabajo de Mauttone (2005) se estudia el problema de optimización de recorridos y frecuencias en sistemas de transporte público, con un enfoque de optimización combinatoria. Para la solución de la problemática utilizaron meta heurística.

En el trabajo de Sánchez Gómez (1998) el autor analiza aspectos técnicos del equipo de transporte público para poder encontrar problemáticas, la investigación de este trabajo se divide en las siguientes 4 partes: En una primera parte se analiza cuáles son las características predominantes en el transporte colectivo de pasajeros en las trece principales ciudades colombianas teniendo en cuenta los aspectos del equipo, de la infraestructura y de la estructura o sistema de transporte; en la segunda parte se proponen soluciones para cada uno de los principales problemas encontrados en los aspectos considerados; en la tercera parte se hace la especificación de las principales características técnicas de tres autobuses tipo o patrón en los tamaños mediano y grande de acuerdo con las normas internacionales. El estudio se complementa con un programa de mantenimiento y con cuatro modelos matemáticos sobre comportamiento mecánico de los autobuses. En la presente investigación se propone una reorganización del sistema público de transporte para dar como resultado un sistema más rápido, eficiente y sostenible, sin la necesidad de una costosa inversión, esto solo detectando las deficiencias del sistema mediante análisis de datos y sensorial.

El objetivo principal de la investigación es que la empresa sea rentable; por ello busca continuamente el análisis de su operación y estrategias que ayuden a identificar las necesidades del mercado y al mismo tiempo lograr los objetivos establecidos dentro de la empresa (Lozano & Katherine, 2016). Entonces la investigación se basa en el cálculo de los costos de combustible que utilizan los autobuses de pasajeros de la empresa en cada una de sus cuatro rutas. Para determinar la demanda de pasajeros se conoce la oferta brindada por la compañía y las limitaciones existentes en la operación diaria de la misma.

Al ser una empresa del ramo de servicios (transporte público de pasajeros), se debe tomar en cuenta que la actividad rectora dentro de la planeación logística (Costa Salas & Castaño Pérez, 2015).

El precio de los combustibles ha sido un tema de polémica en México en los últimos años desde que se aprobó la reforma energética durante el gobierno del presidente Enrique Peña Nieto, (Merchand, 2015). La política aplicada ha llevado a una situación de precio variable de combustibles, que ha afectado a numerosas industrias, entre ellas la del transporte público, Romo (2016).

En la presente investigación se busca optimizar las ganancias de la empresa, sin descuidar el servicio brindado a los clientes, cubriendo la demanda por ruta de acuerdo a su capacidad actual y buscar la mejor asignación de los autobuses para maximizar utilidades sin descuidar la demanda mínima que debe satisfacer.

Objetivo

Modelar la asignación de autobuses en una empresa de transporte público de pasajeros con base en la capacidad de la empresa y en el consumo de combustible.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La información recabada de la empresa se procesó para plantear un problema de optimización con la metodología de programación lineal. Los datos utilizados, se describen de la siguiente manera. En todos los casos $j = 1, 2, \dots, n$; la marca de autobús $i = 1$ es International; $i = 2$ es Mercedes Benz

- O : La oferta, número de viajes redondos (base-destino-base) que la capacidad de la empresa (vehículos en servicio) está en disposición de brindar.
- D_j : La demanda, registros de pasajeros que tienen intención de viajar en la ruta j que cubre la compañía.
- I : Ingreso constante por viaje.
- U_j : Utilidad de la compañía dada en la fórmula (1), ingreso (I) menos el costo promedio ponderado de operación en la ruta j (C_{pj})

$$U_j = I - C_{pj} \quad (1)$$

- L_j : Distancia requerida en kilómetros para completar una vuelta en la ruta j .
- N_i : Rendimiento de combustible promedio para la marca de autobús i International.
- F_{ij} : Requerimiento de combustible para la marca de autobús i en la ruta j , ver la fórmula (2)

$$F_{ij} = \frac{L_j}{N_i} \quad (2)$$

- C_{ij} : Los costos de operación de la marca i en la ruta j , ver la fórmula (3)

$$C_{ij} = F_{ij}D \quad (3)$$

Con D = promedio del histórico del precio del diésel por litro.

- V_i : Número de autobuses en servicio de la marca i .
- A : Número total de autobuses en servicio.
- B_i : Proporción de vehículos en servicio de la marca i , dada en la fórmula (4)

$$B_i = \frac{V_i}{A} \quad (4)$$

- C_{pj} : El costo promedio ponderado, se calculó con base en la cantidad de vehículos disponibles de cada marca en la ruta j , ver fórmula (5)

$$C_{pj} = B_2C_{2j} + B_3C_{1j}. \quad (5)$$

La compañía tiene que cubrir n rutas, para el modelo la variable a optimizar son el número de vueltas necesarias por cada ruta.

- r_j : Número de vueltas necesarias en la ruta j para maximizar la utilidad.

El modelo de optimización lineal se muestra en la expresión (6)

$$\max z = \sum_{j=1}^n U_j r_j \quad (6)$$

Cumplir con un número de vueltas en cada ruta r_j para obtener la utilidad optima total Z .

Sujeto a:

Capacidad de oferta en número de viajes redondos, ver expresión (7)

$$\sum_{j=1}^n r_j \leq O \quad (7)$$

- Restricción de demanda a cubrir, estipulada por la empresa en la expresión (8)

$$r_j \geq \alpha D_j \quad (8)$$

Es el porcentaje de la demanda total en cada ruta, para este modelo es un porcentaje constante α .

Finalmente, la variable número de vueltas necesarias en cada ruta deben de ser variables enteras, se programa una macro para que se realicen todas las operaciones de forma automática.

3. RESULTADOS

Se examinaron los datos brindados por la empresa de transporte público de pasajeros que opera en el oriente de la Ciudad de México y Estado de México, correspondientes a la oferta y demanda de servicio; de igual manera, se investigó sobre las rutas a las que brindan servicio (distancia en kilómetros), los rendimientos -de

combustible- de los modelos de vehículos con los que cuenta la empresa y los históricos del precio del combustible se consultaron en la página <https://www.gob.mx>¹

En las Tablas 1-5 se presenta la información recabada y los cálculos realizados para la modelación del problema. En la Tabla 1 se presenta el número de unidades vehiculares de cada marca con las que trabaja la empresa, la proporción de vehículos de cada marca de autobús se obtiene de la fórmula (4), de igual manera se observa el rendimiento de combustible obtenido de un promedio de una muestra en diferentes horas del día de cada marca. Es importante apuntar que, la empresa proporcionó la información de acuerdo con su operación, cada autobús es capaz de realizar 2 viajes redondos en un día, de esta manera, se determina que la oferta de la empresa (capacidad máxima) es de 90 viajes redondos diarios, de acuerdo con la expresión (7).

Tabla 1. Características de la oferta brindada por la empresa.

Unidades vehiculares (marca)	Número de unidades	Proporción de unidades con respecto al total (%)	Rendimiento promedio de combustible (km/L)
Mercedes Benz	35	78	4.3
International	10	22	4.6
Total	45		

Fuente: Elaboración propia, con datos de la empresa.

En la Tabla 2 se observan las rutas que cubre la compañía, son 4 y todas convergen en un punto (destino); de acuerdo con los registros de la empresa, la demanda (número de vueltas a cada destino) se muestra en la segunda columna de izquierda a derecha, y el requerimiento mínimo a cubrir del 60% se muestra en la tercera columna. Esta demanda mínima a cubrir se representa en la expresión (8).

Tabla 2. Demanda actual y especificación de demanda mínima a cubrir.

Ruta	Demanda actual (número de vueltas)	Demanda mínima a cubrir (60%)
1	36	22
2	36	22
3	33	20
4	33	20
Total	138	84

Fuente: Elaboración propia, con datos de la empresa.

La Tabla 3 resume las distancias que se recorren por ruta, así como el requerimiento de combustible de la marca de autobús Mercedes Benz, el requerimiento se estimó mediante el rendimiento de combustible de la marca (Tabla 1). Finalmente, se muestra en la última columna el costo que se genera por el consumo de diésel por ruta, en la marca Mercedes Benz. El requerimiento de combustible se calcula con la fórmula (2).

Tabla 3. Costos de operación (consumo de combustible) Mercedes Benz.

Ruta	Distancia recorrida (Km/vuelta)	Requerimiento de combustible de Mercedes Benz (Litros)	Costo de combustible por vuelta de Mercedes Benz (MXN)
1	68.4	14.87	281.93
2	77.2	16.78	318.20
3	112	24.35	461.63
4	80.8	17.57	333.04

Fuente: Elaboración propia, con datos de la empresa.

¹ Se consultó el apartado del sitio <https://www.gob.mx/cre/articulos/precios-vigentes-de-gasolinasy-diesel>

La Tabla 4, similar a la Tabla 3, muestra las distancias recorridas por rutas, los requerimientos de combustible de los autobuses International y el costo generado del consumo de diésel por ruta.

Tabla 4. Costos de operación (consumo de combustible) International.

Ruta	Distancia recorrida (km/vuelta)	Requerimiento de combustible de International (Litros)	Costo de combustible por vuelta de International (MXN)
1	68.4	15.91	301.60
2	77.2	17.95	340.40
3	112	26.05	493.84
4	80.8	18.79	356.27

Fuente: Elaboración propia, con datos de la empresa.

En la Tabla 5 se muestra el costo ponderado del combustible por ruta, es ponderada porque se toma en cuenta la proporción de unidades de cada marca (Tabla 1). Finalmente, la estimación de la utilidad es el costo del “ticket” (\$600 MXN) menos el costo del combustible ponderado por ruta y los cálculos son por viaje redondo.

Tabla 5. Costo ponderado de combustible por ruta y utilidad generada por ruta.

Ruta	Costo ponderado del combustible (MXN)	Utilidad (MXN)
1	286.25	313.75
2	323.08	276.92
3	468.72	131.28
4	338.15	261.85

Fuente: Elaboración propia, con datos de la empresa.

C_{ij} : Los costos de operación, estos costos se estiman con base en el consumo de combustible de las unidades vehiculares, para esto se obtuvieron las distancias en kilómetros que se recorren en cada ruta (con el apoyo del sistema de Google Maps), los precios del combustible, así como el rendimiento de combustible promedio de cada modelo vehicular, este promedio del rendimiento se obtuvo al registrar el rendimiento de cada marca en diferentes horas del día laboral $i = 1, 2$ (marca del tipo de vehículo i). Para obtener estos costos se utilizó la fórmula (3).

C_{pj} : El costo promedio ponderado, se calculó con base en la cantidad de vehículos disponibles de cada marca, 78% de la marca Mercedes Benz y 22% de la marca International, utilizando la fórmula (5).

I : Ingreso por viaje. El modus operandi de la empresa es cobrar una cuota fija a los operadores por viaje redondo que realicen, a esta cuota le llaman “Ticket”, y tiene un valor de \$600 MXN. Ésta es independiente del número de pasajeros que utilicen el transporte. Para la utilidad se utiliza la fórmula (1).

El modelo (6) maximiza las utilidades de la empresa por día, en este caso, el resultado es:

$$\sum_{j=1}^4 U_j r_j = \$22,739.84$$

Asignando los viajes por ruta de la siguiente manera:

A la Ruta 1: $r_1 = 28$ viajes.

A la Ruta 2: $r_2 = 22$ viajes.

A la Ruta 3: $r_3 = 20$ viajes.

A la Ruta 4: $r_4 = 20$ viajes.

Teniendo en cuenta que las políticas de la empresa indican que cada unidad realiza dos viajes, entonces el número de unidades asignadas por ruta está dado en la Tabla 6.

Tabla 6. Unidades asignadas por Ruta.

Ruta	Unidades asignadas
1	14
2	11
3	10
4	10

Fuente: Elaboración propia, con datos de la empresa.

4. DISCUSIÓN

La investigación muestra que la programación lineal ayuda a la toma de decisiones para analizar la eficacia de estos modelos en la resolución de problemas, relacionados al ahorro y explotación de recursos, pero la utilización de algoritmos de mayor complejidad no se debe descartar para una mejor modelación de la realidad (Bermúdez Colina, 2011).

Hoy en día numerosas empresas hacen uso de herramientas matemáticas que implican a la programación lineal para la optimización de recursos (Das, Mandal, & Edalatpanah, 2017), en el caso del presente estudio, tal herramienta ha permitido formular un modelo de maximización de utilidades considerando el consumo de combustible como una restricción para conseguir tal fin.

Antes del desarrollo del modelo, la empresa asignaba las unidades a cada ruta de forma arbitraria y no seguía una metodología basada en el aprovechamiento de su capacidad actual, tampoco tenía un criterio con el que pudiera optimizar sus utilidades, únicamente repartía las unidades en cada ruta de manera que ninguna unidad se quedara sin ruta para recorrer.

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo se delimitó a trabajar con los costos de operación, refiriéndose por costos de operación, únicamente a los costos de combustible utilizado en los viajes por rutas. No obstante, es posible llevar más allá la investigación y considerar otros tipos de gastos de operación, fijos y variables que eroga la empresa para trabajar.

Ante la posibilidad de un cambio de escenario en el que varíen el precio del diésel, la demanda de pasajeros, y la capacidad de la empresa en cuanto a cantidad de vehículos disponibles, se elaboró una propuesta para la empresa que contempla el cambio de estas variables mencionadas, la propuesta consiste en una macro en Visual Basic, la cual está elaborada de tal manera que al cambiar cualquiera de estas variables, cambia la solución del modelo. De esta manera brinda una solución sólida ante diferentes escenarios para la organización.

6. AGRADECIMIENTOS

Al corporativo de estudio por la información proporcionada, a la LGAC-2 de la maestría en Administración de la SEPI-UPIICSA y a la academia de matemáticas de la UACH por el apoyo brindado para la realización de la investigación.

7. REFERENCIAS

Alvarado Tlapalama, M. A., García García, A. S., Jiménez Núñez, Z. Y., Saavedra Cruz, Y., & Venegas Muñoz, J. (2010). Optimización de los recursos de la flotilla de reparto en la "Organización Barcel". México, México: Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas.

- Bermeo Muñoz, E. A., & Calderón Sotero, J. H. (2008). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. *El hombre y la máquina*, 52-67.
- Bermúdez Colina, Y. (2011). Aplicaciones de programación lineal, entera y mixta. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas tendencias*, 85-104.
- Costa Salas, Y. J., & Castaño Pérez, N. J. (2015). Simulación y optimización para dimensionar la flota de vehículos en operaciones logísticas de abastecimiento-distribución. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 372-382.
- Cruz Ríos, B. (Octubre de 2014). La demanda de transporte de pasajeros en la ruta Tingo María-Huánuco: modelo econométrico de elección binaria. Tingo María, Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Das, S. K., Mandal, T., & Edalatpanah, S. A. (2017). A mathematical model for solving fully fuzzy linear programming problem with trapezoidal fuzzy numbers. *Applied Intelligence*, 509-519.
- González-Oropeza, R. (2005). Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 147-162.
- Lozano, J., & Katherine, S. (2016). Determinar mediante el método simplex de programación lineal qué tipo de unidades producir con el fin de maximizar las ganancias. Obtenido de Repositorio Digital de la UTMACH: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/9089>
- Marchese, R. A., & Golato, M. A. (2011). El consumo de combustible y energía en el transporte. *CET/UNTucuman*, 1-9.
- Mauttone, A. (Julio de 2005). Optimización de recorridos y frecuencias en sistemas de transporte público urbano colectivo. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República.
- Merchand, M. A. (2015). Estado y reforma energética en México. *Problemas del Desarrollo*, 117-139.
- Morales González, F. (2016). El transporte público en la zona metropolitana del Valle de Toluca. Análisis de estudio de caso: El servicio de transporte público en las rutas de San Pablo Autopan-Centro de Toluca y Lerma-Almoloya de Juárez. Toluca, México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Sánchez Gómez, J. (1998). Vehículos tipo para el transporte urbano de pasajeros en Colombia. *Ingeniería e Investigación*, 41-46.

Este artículo puede citarse de la siguiente forma:

Citación estilo APA sexta edición

Olguín Barrera, J.G., Ulloa Márquez, M.S. & Panteleeva O.V. (septiembre-diciembre de 2019). Optimización de asignación de personal en una ruta de transporte público de pasajeros. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, 5(3), 1-9.

Citación estilo Chicago decimoquinta edición

Olguín-Barrera, Joshua Giovanni, Ulloa-Márquez, Martín Salvador & Panteleeva Olga Vladimirovna. Optimización de asignación de personal en una ruta de transporte público de pasajeros. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, 5 No. 3 (septiembre-diciembre de 2019): 1-9.

Citación estilo Harvard Anglia

Olguín Barrera, J.G., Ulloa Márquez, M.S. & Panteleeva O.V., 2019. Optimización de asignación de personal en una ruta de transporte público de pasajeros. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, septiembre-diciembre, 5(3), pp. 1-9.

Citación estilo IEEE

[1] J.G. Olguín-Barrera, M.S. Ulloa Márquez y O.V. Panteleeva. Optimización de asignación de personal en una ruta de transporte público de pasajeros. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, vol. 5 No. 3, pp. 1-9, septiembre-diciembre de 2019.