

UNA ESTRATEGIA PARA MEJORAR EL TRANSPORTE URBANO, EN PORTOVIEJO, CAPITAL DE LA PROVINCIA DE MANABÍ UTILIZANDO EL MÉTODO SIMPLEX

A STRATEGY TO IMPROVE URBAN TRANSPORTATION, IN PORTOVIEJO, CAPITAL OF THE PROVINCE OF MANABÍ USING THE SIMPLEX METHOD

Luis Heriberto Montenegro Palma ^{1*}

¹ Departamento Matemáticas y Estadística, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0492-1635>. Correo: luis.montenegro@utm.edu.ec

Carlos Alberto Aray Andrade ²

² Departamento Matemáticas y Estadística, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5895-5200>. Correo: carlos.aray@utm.edu.ec

Joe Gerald Guillen Garcia ³

³ Departamento Matemáticas y Estadística, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3520-003X>. Correo: joe.guillen@utm.edu.ec

Yandri Guerrero Alcívar ⁴

⁴ Departamento Matemáticas y Estadística, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5759-9013>. Correo: yandri.guerrero@utm.edu.ec

* Autor para correspondencia: luis.montenegro@utm.edu.ec

Resumen

La optimización del diseño de rutas de transporte urbano es fundamental para garantizar la eficiencia y calidad del servicio que se brinda a la comunidad. En Portoviejo, se han identificado falencias en este aspecto, por lo que se ha llevado a cabo un modelo de programación lineal para minimizar dichas deficiencias. Para ello, se implementó una modificación del método Simplex, aproximación de Vogel, el cual permitió resolver el problema con la ayuda del método de programación lineal de Solver. Se consideraron restricciones de

operatividad, recursos y tiempo para garantizar la eficiencia del servicio. La aplicación del modelo de programación lineal permitió obtener resultados satisfactorios en cuanto a la rentabilidad de la operadora de transporte urbano. La falta de uso de modelos matemáticos estaba afectando negativamente la rentabilidad y la satisfacción de los usuarios, por lo que la implementación de este modelo ha sido un gran avance en la mejora del servicio. Por ello, es importante seguir trabajando en la optimización del diseño de rutas y la implementación de herramientas matemáticas que permitan mejorar la calidad del servicio.

Palabras clave: programación lineal; método simplex; modelo matemático; aproximación de Vogel.

Abstract

Optimizing the design of urban transportation routes is fundamental to guarantee the efficiency and quality of the service provided to the community. In Portoviejo, shortcomings in this aspect have been identified, so a linear programming model has been carried out to minimize these deficiencies. For this purpose, a modification of the Simplex method, Vogel's approximation, was implemented, which allowed solving the problem with the help of the Solver linear programming method. Operational, resource and time constraints were considered to ensure service efficiency. The application of the linear programming model allowed obtaining satisfactory results in terms of the profitability of the urban transport operator. The lack of use of mathematical models was negatively affecting profitability and user satisfaction, so the implementation of this model has been a great step forward in improving the service. Therefore, it is important to continue working on the optimization of route design and the implementation of mathematical tools to improve service quality.

Keywords: linear programming, simplex method, mathematical model, Vogel approximation.

Fecha de recibido: 07/01/2023

Fecha de aceptado: 29/03/2023

Fecha de publicado: 30/03/2023

Introducción

El transporte como proceso de servicio y producción. Tiene como meta incrementar las ganancias y disminuir los costos. Sea transporte terrestre, marítimo, aéreo. El problema del transporte público de usuarios es cotidiano en las ciudades que pertenecen a naciones en vías de desarrollo. Problemas de esta naturaleza han sido abordados por la ciencia con el empleo de modelos matemáticos.

Un problema de transporte es, en matemáticas y economía, un caso particular de los problemas que estudia la programación lineal, con el empleo del método Simplex clásico y sus modificaciones. En el cual se debe minimizar el coste del abastecimiento a una serie de puntos de demanda, a partir de un grupo puntos de oferta. Los modelos matemáticos se presentan como herramientas útiles para el logro de los objetivos antes propuestos.

Los fundadores de la técnica son George Dantzig, quien publicó el algoritmo simplex, en 1947; John von Neumann, que desarrolló la teoría de la dualidad en el mismo año; y Leonid Kantoróvich, un matemático ruso, que utiliza técnicas similares en la economía antes de Dantzig y ganó el premio Nobel en economía en 1975. En 1979, otro matemático ruso, Leonid Khachiyan, demostró que el problema de la programación lineal era resoluble en tiempo polinomial. Más tarde, en 1984, Narendra Karmarkar introduce una nueva modificación al introducir el concepto del punto interior (una aplicación de la teoría del punto fijo de Banach), lo que constituiría un enorme avance en los principios teóricos y prácticos en el área.

La motivación del presente trabajo es implementar una modificación del método Simplex con aproximación de Vogel, para disminuir las falencias que presenta el servicio de transporte urbano que se brinda a la comunidad de Portoviejo, Ecuador. Se definió como **objetivo general**: Optimizar las diversas rutas de transporte urbano de la ciudad de Portoviejo asignando las unidades a las distintas rutas con el propósito de maximizar los ingresos totales a la operadora y disminuyendo los costos por líneas para obtener una mejor rentabilidad. Fueron definidos los siguientes **objetivos específicos**:

- Diagnosticar la actual situación de las rutas que permita la mejora de ingresos.
- Aplicar el método de Vogel para el estudio de optimizar el número de unidades a las rutas establecidas y así aumentar el rendimiento operativo.
- Comparar ingresos existentes con los ingresos que se pretenden obtener aplicando la solución óptima obtenida aplicando el algoritmo del método de Vogel.

Materiales y métodos

Para alcanzar los objetivos del presente estudio se obtuvo los datos promedio de un mes de trabajo de las unidades de transporte urbano, los cuales sirvieron como información para desarrollar el trabajo, Se procedió a desarrollar los siguientes pasos para obtener los datos que se aplicarán en el método Simplex.

1. Se solicitó información de los datos y valores que son obtenidos a través del GPS, de las variables que se utilizaron en el estudio, en los cuales se usó métodos de estadística descriptiva para poder plantear el modelo de programación lineal.
2. Se tomaron como referencia datos de tres meses, de aquellos se tomó como promedio los valores a quince días de trabajo, de las unidades de transporte de la cooperativa los datos estadísticos que arrojaba el GPS, tanto en la variable de tiempo, como de pasajeros por parada de manera diaria.
3. Se calcularon los promedios diarios de ingresos de cada una de las rutas, haciéndolo de forma manual, luego estos datos fueron ingresados al programa Solver, para obtener los resultados del método Simplex.
4. Se solicitó a la operadora los valores que cada una de las líneas tienen como gasto, para encontrar un gasto global operativo.
5. Se aplicaron los métodos de aproximación de Vogel, de la Esquina Noroeste y de Costo Mínimo, para realizar una comparación y así obtener la menor cantidad posible de costos por cada uno de los autobuses que se tienen en las rutas.

Resultados y discusión

Diseño de rutas aplicando el algoritmo de Vogel.

El método de Aproximación de Vogel, es considerado un método efectivo para acercarse a la óptima solución requerida. Aunque entre sus desventajas cabe citar que requiere para su realización un número mayor de iteraciones con respecto a los demás métodos. Con el desarrollo de las TIC: aumento en la velocidad de cálculo y capacidad de almacenamiento minimiza esta desventaja. Sus resultados son un valor cercano a una respuesta óptima.

En este estudio se utilizó para mostrar como optimizar los resultados de los costos de las líneas, en movimiento local de autobuses entre las diferentes rutas.

- I. Para la aplicación de este método debemos determinar las medidas de penalización, realizando una diferencia entre los costos más bajos por fila y columna respectivamente, este valor será siempre positivo, ya que se resta el valor mayor menos el menor.
- II. A continuación, tomamos la mayor penalización seleccionando la fila o columna a la que pertenece.
- III. Obtenemos el mínimo costo de la fila y columna de mayor penalización determinada en el paso anterior a la que le asignamos la mayor cantidad posible para cumplir con lo demandado, y como consecuencia la tabla se reducirá sombreando las columnas y filas satisfechas, no obstante, si hay igualdad se tachará una, la otra no satisfecha queda con demanda u oferta igual a la diferencia, dando lugar a que se repita el proceso nuevamente.

Para obtener el cálculo del costo total de distribución (z): se suma el producto resultante de las multiplicaciones (multiplicándose las casillas que quedan con unidades máximas que han sido asignadas con el costo unitario – valores, escritos dentro de la misma).

De ciclo y excepciones:

El modelo presenta tres partes fundamentales:

1. Max (o Min)

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots C_jX_j$$

Esta es la función objetivo que indica la minimización o maximización del sistema.

2. Restricciones

$$a_{j1}X_1 + a_{j2}X_2 + \dots a_{j1}X_j \leq (= \text{ó } =) b_1$$

$$a_{j1}X_1 + a_{j2}X_2 + \dots a_{j2}X_j \leq (= \text{ó } =) b_2$$

$$\begin{matrix} . & . & \dots & . & . & . \\ . & . & \dots & . & . & . \\ . & . & \dots & . & . & . \end{matrix}$$

$$a_{j1}X_1 + a_{j2}X_2 + \dots + a_{jn}X_n \leq (= \text{ó} =) b_1$$

El punto 2 son las restricciones de las variables principales.

$$3. \quad X_1, X_2, \dots, X_n = \geq 0 \quad j=1, 2, 3, \dots$$

Solución:

Número total de la restricción de oferta: 5

Número total de restricciones de demanda f: 5

Solución de método de Vogel

	re1	re2	re3	re4	re5	Sum inist ro	Penalización
S1	150	130	120	100(10)	126	10	20 20 20 30 30 30 - - -
S2	245	131(6)	196	130(4)	245	10	1 1 1 1 1 1 1 1 1 130
S3	120	106(7)	101	120	134	7	5 5 5 14 14 14 14 - - -
S4	204	109(5)	163	109	204	5	0 0 0 0 0 0 0 0 - -
S5	180	68(5)	102	68	180	5	0 0 0 0 0 - - - - -
Stonto	0(10)	0(1)	0(7)	0	0(5)	23	0 0 0 0 - - - - - -
Dem anda	10	24	7	14	5		
Penal izaci ón	120120 - ----- ---	68686868 38332213 1--	10110110 1----- ---	686868683 291121130 130	126----- ----- ---		

El costo mínimo total de transporte = $100 \times 10 + 131 \times 6 + 130 \times 4 + 106 \times 7 + 109 \times 5 + 68 \times 5 + 150 \times 10 + 131 \times 1 + 101 \times 7 + 180 \times 5 = 7,171$

S2	245	131	196	130	245	10
S3	120	106	101	120	134	7
S4	204	109	163	109	204	5
S5	180	68	102	68	180	5

Demanda	10	24	7	14	5
----------------	----	----	---	----	---

	re1	re2	re3	re4	re5	Suministro
S1	150(10)	130	120	100	126	0
S2	245	131(10)	196	130	245	0
S3	120	106(7)	101	120	134	0
S4	204	109(5)	163	109	204	0
S5	180	68(2)	102(3)	68	180	0
Stonto	0	0	0(4)	0(14)	0(5)	0
Demanda	0	0	0	0	0	

Los resultados obtenidos del método de Vogel dan \$7,171 y el método de Esquina de Noroeste determina \$7,389. Mientras que el método de Costo Mínimo es \$8,461. Estos resultados ratifican que el método más efectivo en el caso concreto de este estudio es el método de Vogel.

Este resultado a tomar en cuenta permite determinar la utilidad neta, tomando el valor resultante del método de Vogel, por cuanto los métodos de Mínimo Costo y método de Esquina Noroeste se encuentran más alejado de los resultados óptimos esperados.

Conclusiones

En el diseño de la transportación urbana de pasajeros de Portoviejo, no ha sido utilizado ningún método matemático, lo cual ha desembocado en ineficiencias. En el presente trabajo ha sido utilizado el método Simplex, el Método de la Esquina de Noroeste, el Método de Mínimo Costo y el método de Vogel, siendo apropiados para determinar máximos valores y costos. Teniendo una ecuación principal objetiva, así se logra

encontrar el valor mínimo posible de gastos, utilizando los correspondientes datos tomados del archivo digitalizado de la operadora, donde consta el valor máximo de ingresos y los costos operativos, disminuyendo también el tiempo que toma esperar en las paradas. Con esto, se han podido establecer la cantidad de vehículos por cada ruta, logrando brindar mejor servicio hacia la colectividad y una mejor rentabilidad para la operadora. Reduciendo costos operativos diarios utilizando los métodos heurísticos, para así encontrar valores que haga posibles una menor cantidad utilizado en los gastos operacionales.

Finalmente, se logró obtener datos que posibilitan conocer los ingresos actuales, procediendo a contrastarse con la aplicación del modelo matemático, ello reflejó la diferencia de ingresos, siendo deficiente con el actual sistema de rutas, esto permite darnos cuenta que podemos mejorar los ingresos de las operadoras y se disminuya tiempo de espera en las paradas del usuario.

Recomendaciones

Este trabajo puede servir como apoyo a futuras investigaciones, hasta que se reordene el tránsito vehicular en las áreas afectadas por la regeneración producto del terremoto. Sugiriendo además algunos trabajos que se podrían realizar tomando como base este reordenamiento:

- Aplicar un modelo matemático a las tres operadoras que cubren los demás sectores urbanos de Portoviejo,
- Aplicar un estudio de cobro automatizado según la ruta y tiempo de recorrido.
- Analizar el recorrido de cada ruta de la operadora Ciudad de Portoviejo para incrementar la función del tiempo y la cantidad de pasajeros.
- Cubrir sectores urbanos de Portoviejo que no son cubiertos por la operadora, apoyándose en el actual estudio ampliando las rutas.
- Trabajo de costos por kilómetros recorrido de cada autobús según la ruta que tenga.
- Se dejó establecida la validación del trabajo para que sea aplicable después de 6 meses laborables, cuando las calles de Portoviejo presten las facilidades que sean transitadas en el área urbana.

Referencias

- Aguado, A. y Jiménez, J. (2013). Optimización de rutas de transporte. http://eprints.ucm.es/23027/1/Memoria_OptimizacionRutasTransporte.pdf
- Asamblea Nacional (2008). Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial. Registro Oficial Suplemento 398 de 07-ago.-2008. Quito.
- Asamblea Nacional (2012). Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre Transito y Seguridad Vial. Decreto Ejecutivo 1196 Registro Oficial Suplemento 731 de 25-jun-2012. Quito.
- Ayuntamiento de Madrid. (2014). Plan de movilidad Urbana Sostenible de la ciudad de Madrid. https://www.sinaldetransito.com.br/artigos/plan_de_movilidad_de_madrid.pdf

- Bermeo, E. y Calderón, J. (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. El Hombre y la Máquina, núm. 32, enero-junio, 2009. <http://www.redalyc.org/html/478/47811604005/>
- Borderías, P. y Martín, E. (2011). Medio ambiente urbano. Madrid. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Callejo, M. (2009). Optimización del diseño de líneas de autobús. Aplicación a Donostia-San Sebastián. Universitat Politècnica de Catalunya. [https://www.dbus.eus/.../4- optimizacion-del-diseno-de-lineas-de-autobus-aplicacion-a-](https://www.dbus.eus/.../4-optimizacion-del-diseno-de-lineas-de-autobus-aplicacion-a-)
- Díaz, L. y Quintana, N. (2015). Análisis del movimiento de pasajeros en la ruta 447 Morón - Ciego de Ávila. <http://www.scielo.br/pdf/jtl/v9n4/2238-1031-jtl-09-04-0020.pdf>
- Font, M. (2011). Programación matemática para la economía y la empresa. Segunda edición. Valencia. Universitat de Valencia.
- Garriga, F. (2012). Problemas resueltos de programación lineal. OmniaScience. www.omniascience.com
- González, L. (2010). Ciudad y arquitectura urbana en Colombia 1980-2010. Editorial Universidad de Antioquia.
- Hernández, J. (2012). Algoritmo de optimización de rutas. http://www.innovacion.unam.mx/images/trans_fichas/inge/Algoritmo.pdf
- Hillier, F. y Lieberman, G. (2015). Introducción a la investigación de operaciones Quinta edición. México D.F. Editorial McGraw Hill.
- Jolonch, J (2013). Análisis del transporte masivo y la movilidad en Bogotá. Universidad & Empresa. No. 24. <https://revistas.urosario.edu.co/index.php/empresa/article/download2039/2>
- Martínez, I. Vértiz, G. López, J. Jiménez, G. Moncayo, L. (2014). Investigación de Operaciones. México D.F. Grupo Universitaria Patria.
- OCDE (2013). Estudio Territorial: Puebla-Tlaxcala, México. Puebla. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico – Instituto Municipal de Planeación de Aguas Calientes.
- Pineda, H. (2015). Estrategias de competitividad y transformaciones urbanas: la incidencia de los clúster en la metamorfosis de Medellín: 1995-2013. <http://www.bdigital.unal.edu.co/52613/1/91047385.2015.pdf>
- Render, B. et al. (2012). Métodos cuantitativos para los negocios. Undécima Edición. México D.F. Pearson Educación.
- Serna, C. García, J. Flórez, O. (2016). Análisis de Rutas de Transporte de Pasajeros Mediante la Herramienta Network Analyst de Arcgis. Caso Aplicado en la Ciudad de Medellín. Ingenierías USBMed, Volumen 7, No. 2, Julio-Diciembre 2016. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6007708.pdf>

Universidad Politécnica de Cataluña. (s.f). El caso de Londres.
<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3390/40877-7.pdf>