

Estrategia en el suministro de botellas de agua purificada con el logaritmo aproximación Vogel

A strategy in the supply of bottles of purified drinking water with the approximation logarithm Vogel

Enrique Avila Soler^{1*}, Jesús Loyo Quijada¹, Miguel Ángel López Ontiveros¹, Usiel Sandino Silva Rivera¹,
Martha Hanel Gonzalez¹

¹ Departamento de Sistemas, División Ciencias Básicas e Ingenierías, Unidad Azcapotzalco, Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, México. C.P. 02128.
eas@azc.uam.mx, Teléfono 53189532 ext. 129.

*Autor de correspondencia

Resumen

En esta investigación se propone una herramienta aplicable a cualquier sector productivo que busque eficientar el uso y manejo de los recursos internos en una organización. El objetivo del trabajo es minimizar los costos de transporte en el envío de agua purificada embotellada ante variaciones en los pedidos de clientes por medio del logaritmo de aproximación Vogel. El método consistió en aplicar los cinco puntos siguientes: 1) recolectar información interna y externa, 2) analizar y depurar la información, 3) simular en *software*, 4) interpreta los resultados y 5) proponer soluciones. Los resultados arrojados determinaron que el costo mínimo de transporte de botellas de agua para las presentaciones de 600 ml, 1000 ml y 2000 ml fueron de \$150.6, \$251.5 y \$494 pesos mexicanos, respectivamente; además, cada producto genera una ruta óptima ideal. Se concluye que la metodología permitió generar información relevante para la toma de decisiones estratégicas en la empresa con base en las condiciones actuales.

Palabras clave: Variaciones; suministro; agua purificada embotellada; simulación; aproximación Vogel.

Abstract

This research proposes a tool applicable to any productive sector that seeks to streamline the use and management of internal resources in an organization. The objective of this work is to minimize transport costs in the shipment of bottled purified drinking water in the face of variations in customer orders through the Vogel approximation logarithm. The method consisted of applying the following five points: 1) to collect internal and external information, 2) to analyze and purify information, 3) to simulate in software, 4) to interpret results, and 5) to propose solutions. Results determine that the minimum transportation cost for bottled water in presentations of 600 ml, 1000 ml, and 2000 ml were \$150.6, \$251.5, and \$494 Mexican pesos, respectively; additionally, each product generates an ideal optimal route. It is concluded that the methodology allowed to generate relevant information for strategic decision making in the company based on current conditions.

Keywords: Variations; supply; bottled purified water; simulation; Vogel approximation.

Recibido: 21 de junio de 2023

Aceptado: 23 de febrero de 2024

Publicado: 08 de mayo de 2024

Cómo citar: Avila Soler, E., Loyo Quijada, J., López Ontiveros, M. A., Silva Rivera, U. S., Hanel Gonzalez, M. (2024). Estrategia en el suministro de botellas de agua purificada con el logaritmo aproximación Vogel. *Acta Universitaria* 34, e3917. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2024.3917>

Introducción

El presente documento detalla una alternativa de solución a las problemáticas existentes en el área de almacenes de una empresa de agua purificada embotellada (Eape), derivadas de las variaciones en los pedidos por cliente y no de la cantidad total, que según la información histórica es constante. Las tres problemáticas detectadas en la Eape de estudio son las siguientes: 1) cantidad errónea de producto solicitado, 2) duplicidad en los embarques y 3) carencia de respuesta rápida en la definición de rutas de suministro óptimas ante las variaciones en pedidos de los clientes.

El estudio es importante porque cumple los tres aspectos siguientes: 1) la información de referencia fue tomada de una Eape real, 2) se generan soluciones específicas a las problemáticas actuales con perspectivas al futuro y 3) la metodología es confiable y certera en términos de beneficio general. Además, la investigación se justifica porque propone una herramienta aplicable a cualquier sector productivo que desee aprovechar al máximo el uso y manejo de los recursos internos en una organización.

Los antecedentes tomados para esta investigación son conceptos teóricos y aportes de estudios con temáticas como los siguientes: optimización, investigación de operaciones (IO), el método de transporte (MT), efectividad del MT, problema de transporte (PT), costo de distribución o costo logístico, caso de estudios similares y aplicación, el agua purificada embotellada y su mercado. En primer lugar, la optimización es el acto de obtener el mejor resultado bajo circunstancias dadas en diseño, construcción y mantenimiento de cualquier sistema de ingeniería; los ingenieros tienen que tomar muchas decisiones tecnológicas y de gestión en varias etapas. Es decir, se puede definir como el proceso de encontrar las condiciones que dan el valor máximo o mínimo de una función (Rao, 2009).

La investigación de operaciones, conforme a Taha (2011), utiliza métodos analíticos avanzados para decisiones óptimas y ha tenido un impacto significativo desde la Primera Guerra Mundial. Es esencial en campos como la gestión empresarial, la logística, la ingeniería y la planificación militar, siendo crucial en la toma de decisiones estratégicas en la actualidad.

Por su parte, el MT se define como el modelo que determina una distribución de productos en general, desde los diferentes orígenes hasta los distintos destinos del mercado demandante (Guerrero, 2009; Hadson, 1996; Hillier & Lieberman, 2018). Los dos objetivos del MT son: 1) minimizar el costo de enviar n unidades hasta m destinos o 2) maximizar las utilidades de enviar n unidades a m destinos. Los tres métodos para el cálculo son: costo mínimo (MCM), esquina noroeste (MEN) y aproximación Vogel (MAV), entre ellas puede haber variaciones derivadas de la manera en que se resuelven (González & García, 2015; Guerrero, 2009; Palacios, 2017). Es importante mencionar que, según Mauleón (2006), "el costo de distribución o logístico es el conjunto de costos asociados al producto desde que entra en el almacén de producto terminado hasta que llega a destino final.

Diversos autores han empleado métodos variados en sus investigaciones para abordar problemas de transporte (PT), cada uno con enfoques y aplicaciones específicas. Ullah *et al.* (2016) resaltan la eficiencia del *modified assignment method* (MAV), especialmente en problemas logísticos a gran escala. Hlatká *et al.* (2017) aplican MAV para optimizar flujos en empresas manufactureras, reduciendo costos operativos de transporte. Barboza *et al.* (2018) utilizan MAV en la definición de rutas inteligentes en la distribución de alimentos. Pereira *et al.* (2018) comparan MAV con diagrama de red, mostrando la optimización en la distribución de cemento. Szromek (2018) destaca la aplicabilidad de métodos logísticos, incluido el MAV, en la planificación de alojamiento en establecimientos de spa. Azad & Hasan (2019) proponen un algoritmo simplificado que supera al MAV en eficacia para problemas de transporte. Güldağı (2019) utiliza métodos de equilibrio de Nash (MEN), celdas del método de costo mínimo (MCM) y MAV para minimizar costos de distribución militar. Villamarín *et al.* (2019) aplican MAV junto con otros métodos para determinar un modelo matemático óptimo para una empresa comercializadora de combustibles. Ziółkowski & Lęgas (2019) comparan MEN, MCM y MAV en el transporte por carretera. Babu *et al.* (2020) introducen un MAV mejorado que supera al MAV estándar en múltiples problemas de transporte. Gonçalves (2020) propone un algoritmo parametrizable más eficiente que métodos numéricos, destacando su menor consumo de tiempo. Hossain & Ahmed (2020) presentan un método de media de menor costo para obtener una solución básica inicial factible (IBFS) más eficiente. Latunde *et al.* (2021) analizan un PT de la vida real utilizando MEN, MCM y MAV, comparando cómo pequeños cambios afectan los resultados. Szkutnik-Rogoż *et al.* (2021) utilizan MEN, MAV y otros métodos para encontrar soluciones óptimas en el transporte con camiones de carga media. Amaliah *et al.* (2022) proponen y comparan un nuevo método llamado Bilqis Chastine Erma method (BCE), el cual supera al MAV en términos de costo total y tiempo de resolución. Además, presentan otro método llamado selección de suministro (SSM), el cual proporciona mejores soluciones iniciales que MAV y otros métodos. Bisht & Dangwal (2022) abordan PT con información imprecisa utilizando el MAV y mejorando la solución con un método de distribución modificada. Ekanayake & Ekanayake (2022) proponen un enfoque mejorado de MAV para reducir costos en PT restringidos. Shalini *et al.* (2022) prueban diferentes tipos de PT y resuelven el problema mediante MEN, método de menor costo, MAV y método MODI. Oliveira *et al.* (2022) comparan MEN, MAV y Simplex LP para minimizar costos de transporte en la cadena de suministro. Ackora-Prah *et al.* (2023) introducen un método de asignación basado en la demanda (DBAM) que supera a MEN, método de menor costo y MAV en eficiencia para resolver PT a gran escala. Moreno & Santana (2022) analizan la incidencia estadística en modelos de transporte, destacando la importancia de la optimización logística y el transporte en la cadena de suministro global. Aroniadi & Beligiannis (2023) proponen variaciones del algoritmo PSO para resolver PT, mostrando su eficiencia comparada con MAV y otros métodos. Hemalatha *et al.* (2023) presentan un enfoque novedoso utilizando MAV en un contexto neutrosófico para obtener soluciones óptimas. Montenegro *et al.* (2023) emplean una modificación de MAV, denominada TrigAc-PSO, para resolver PT, destacando la eficiencia de su método en comparación con MAV, TDM1, TOCM-MT, JHM y BCE. Finalmente, Tarafdar *et al.* (2023) proponen modelos de energía basados en regresión y algoritmos de consolidación y colocación de máquinas virtuales (mv) que superan a MAV y a otros en términos de eficiencia energética y calidad de servicio (QoS). Estas investigaciones reflejan la diversidad de enfoques y la continua evolución de métodos para abordar problemas de transporte en distintos contextos y con distintos objetivos.

En otro orden de ideas, el agua purificada se caracteriza por un contenido determinado de sales minerales, y sus proporciones relativas se obtiene directamente de manantiales o fuentes perforadas procedentes de estratos acuíferos. En los perímetros protegidos de estos estratos deberán adoptarse las medidas pertinentes para evitar que la calidad química o física del agua sufra algún tipo de contaminación, esto es, que mantenga su composición y calidad constantes. Se debe envasar cerca del punto de surgencia de la fuente, en condiciones que garanticen la pureza microbiológica y la composición química original en sus constituyentes esenciales, y no se debe someter a otros tratamientos que no estén permitidos por la norma NOM-201-SSA1-2015, además de que puede estar o no carbonatada (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2015).

Las preferencias de consumo de agua potable embotellada (Ape) varían de acuerdo con características demográficas y socioeconómicas (Ali Sajjadi *et al.*, 2016; Morote, 2017). A pesar de esto, el mercado global de Ape proyecta un crecimiento anual compuesto (CAGR) del 6.2% durante el periodo 2022-2027, aunque las amplias medidas restrictivas establecidas por los gobiernos de todo el mundo para combatir el brote mundial de coronavirus han creado desafíos logísticos para el sector de procesamiento de Ape (Mordor Intelligence, 2022). Por otro lado, el Consejo de Cooperación del Golfo menciona que el mercado de Ape se valoró en USD 4482.09 millones en 2020, y se prevé que crezca a una CAGR del 10.98% durante el periodo 2021-2026 (Mordor Intelligence, 2022). Además, la corporación de comercialización de bebidas resalta tres puntos importantes: 1) en 2022, el Ape experimentó un aumento del 3.0% en su volumen de demanda a nivel mundial, equivalente a 4300 millones de hectolitros; 2) en los últimos cinco años, el Ape ha incrementado su CAGR en un 2.4%, y se estima que para 2027 crecerá a un 2.6% CAGR, superando los 4900 millones de hectolitros; y 3) el éxito continuo del Ape se atribuye a su posicionamiento como una bebida refrescante saludable y un reemplazo del agua del grifo.

Beverage Marketing Corporation (2023) menciona los siguientes puntos acerca del consumo de Ape:

1. El consumo a nivel mundial para los años 2017, 2022 y 2027 fue de 3850.8, 4336.7 y 4931.2 millones de hectolitros (Hl). Es decir, hubo una tasa de crecimiento anual de 2.4% entre 2017 a 2022 y de 2.6% de 2022 al 2027, y se contempló a las regiones de Asia, Norte América, Europa, Sur América y África-medio oriente-Oceanía.
2. El consumo del mercado de América del Norte del año 2016 a 2021 fue de 42 gal, 44.1 gal, 46 gal, 47.2 gal, 48.5 gal y 50 gal per cápita.
3. El país México destaca entre el periodo 2016-2021 por su consumo de 69 gal, 71.8 gal, 75 gal, 76.4 gal, 77.2 gal y 78 gal per cápita.
4. El volumen de bebidas esperado para el año 2026 en Norte América se proyecta a 93.4 millones de galones más que en 2021, con 86.6 mil millones de galones. Es probable que la población de la región pasará de 540.2 millones en 2021 a 558.7 millones en 2026. Las cifras de participación serían aún más altas en los Estados Unidos y México.

La investigación de Montero-Contreras (2016) muestra que México lidera el consumo mundial de agua embotellada, influido por la urbanización, el crecimiento de la clase media y la preocupación por la calidad del agua del grifo. Aunque el acceso al agua embotellada ofrece comodidad y seguridad, sus desventajas incluyen preocupaciones ambientales por los residuos plásticos y desafíos socioeconómicos debido a su alto costo, exacerbando las disparidades en el acceso al agua potable.

Con base en lo anterior, la hipótesis del estudio es que al aplicar la metodología del logaritmo de aproximación de Vogel se podrá determinar las cantidades y costos de envío y/o las diferentes rutas para el suministro de Ape ante información de variaciones en los pedidos de clientes. El objetivo del trabajo es minimizar los costos de transporte en el envío de agua purificada embotellada ante variaciones en los pedidos de clientes por medio del logaritmo de aproximación Vogel.

Materiales y métodos

El lugar donde se realizó el estudio fueron dos bodegas de Eape que se ubican en la Ciudad de México y en el Estado de México, las cuales proporcionaron información correspondiente a un periodo mensual del año 2023 que se detalla en los siguientes puntos: a) presentaciones a ofertar, b) demanda del producto, c) costos unitarios del suministro de origen a destino y d) almacenes origen.

En cuanto a detalles del producto, se puede decir que el producto por ofertar son botellas o paquetes de botellas que contienen agua purificada. Las presentaciones unitarias corresponden a 600 ml, 1000 ml y 2000 ml. En el caso de los paquetes, dependiendo del tamaño, se empaquetan al cliente con ocho a 12 unidades. La demanda del producto o destinos corresponde a cuatro bodegas de tiendas de autoservicio de la zona norte de la Ciudad de México, localizadas en las colonias Lindavista (L), Polanco (P), Anzures (Az) y Anáhuac (Ah). Los costos de suministro unitarios de origen a destino fueron proporcionados por las Eape, quienes mencionan que los calcularon considerando los seis rubros siguientes: 1) consumo de combustible, 2) desgaste mecánico o eléctrico del vehículo y desgaste de llantas, 3) seguro vehicular, 4) distancia, 5) tiempo de tránsito vial, y 6) relación peso-volumen. Los almacenes origen de la Eape se ubican en las zonas de Vallejo (V) y Naucalpan (N), en ambos casos se tiene una capacidad máxima de resguardo de 250 mil botellas por cada tipo de presentación.

Los materiales que se utilizaron para el desarrollo de la investigación fueron información de la Eape para simular el algoritmo de método de transporte aproximación Vogel y el *software Qm for Windows* versión 5. Por otro lado, las medidas y unidades empleadas en este estudio consistieron en mililitros (ml), cantidad (Q), hectolitro (Hl), Galones (gal) y costo de suministro o envío (\$). Además, se consideraron variables como el mercado, la oferta, la demanda, el precio, la cantidad, el costo del envío unitario y la presentación de botella. En cuanto al método aplicado a este estudio, consistió en los siguientes cinco pasos: 1) recolectar información interna y externa adicional a la proporcionada, 2) analizar y depurar la información, 3) simular en *software* las variables representativas, 4) interpretar los resultados y 5) proponer soluciones.

Por su parte, el MAV es un método heurístico que usualmente proporciona una mejor solución de inicio que los demás métodos, es el de mayor aplicación en la solución de problemas relacionados con la industria y el comercio en general, dado que desde el comienzo toma en consideración los costos unitarios de cada una de las diferentes rutas posibles para minimizar el costo total de la operación (Tabla 1) (Girón et al., 2021).

Tabla 1. Cantidad por abastecer de Or a De de Ape en un pedido a clientes.

Or/De	De 1	De 2	De 3	De 4	S
Or 1	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	S ₁
Or 2	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	S ₂
D	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	

Nota. Or es el origen, De es el destino, X_{ij} es el costo unitario del envío de i orígenes a j destino, D es la demanda o cantidad solicitada por el mercado y S es la oferta o cantidad producida que ofrece la empresa al mercado
Fuente: Tomado de Taha (2011).

La solución del MAV se realiza mediante las tres siguientes etapas: 1) para cada fila o columna en el que quede algún suministro o alguna demanda, calcule su diferencia, que es la diferencia no negativa entre los dos costos de embarque C_{ij} más pequeños asociada con las variables no asignadas en esa fila o en esa columna; 2) considere la fila o la columna con la mayor diferencia: en caso de empate, se selecciona uno arbitrariamente; y 3) en esta fila o columna localice la variable no asignada (celdilla) que tenga el costo unitario más pequeño de embarque y asígnele tantas unidades como sea posible sin ir en contra de las restricciones. Se calculan las nuevas diferencias y se repite el procedimiento anterior hasta satisfacer todas las demandas (Render *et al.*, 2016).

El diseño experimental del estudio consistió en generar tres escenarios con variaciones de los pedidos de venta y por presentación, de los cuales se seleccionaría el óptimo. La configuración de las variaciones (tome de referencia la Tabla 1) en los pedidos se realizó como se menciona en los tres incisos siguientes: En el inciso 1) se aplica la información proporcionada por la Eape como está el algoritmo de transporte, y en los incisos 2) y 3) se alternan la D y S: en el primer caso se colocan D2, D1, D4, D3 y S2, S1, y en el segundo caso se colocan D4, D3, D2, D1 y S2, S1.

Resultados

El desarrollo de la investigación permitió obtener tres escenarios, los cuales se detallan a continuación.

Escenario 1. Presentación de 600 ml de Ape

El primer escenario permitió determinar la cantidad, costo y rutas para realizar el servicio del suministro de botellas de agua purificada (Bap) en la presentación de 600 ml (Figura 1).

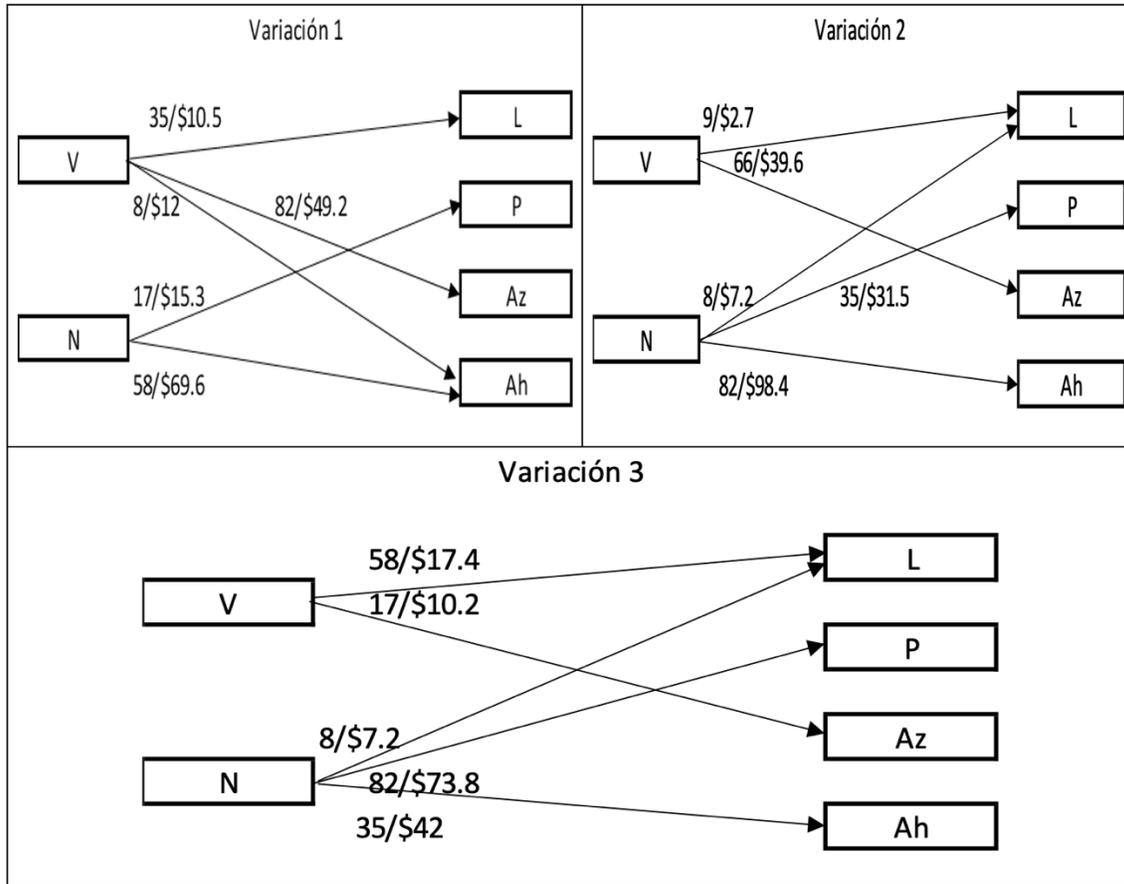


Figura 1. Comportamiento del escenario 1.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 1 muestra el comportamiento del escenario 1 en cuanto a cantidad, costo y rutas para realizar el servicio del suministro de botellas de agua purificada en la presentación de 600 ml:

- La variación 1 deduce que el almacén que tendrá mayor cantidad de envíos es V, con 125 mil Bap a L, Az y Ah, y un equivalente a \$71.1¹. Lo contrario ocurre en la bodega de N, con 75 mil Bap a P y Ah, y un costo de \$84.9.
- La variación 2 menciona que el almacén que tendrá mayor cantidad de envíos es N, con 125 mil Bap a L, P y Ah, y un equivalente a \$137.1. Lo contrario ocurre en la bodega de V, con 75 mil Bap a L y Az, y un costo de \$42.39.
- La variación 3 indica que el almacén que tendrá mayor cantidad de envíos es N, con 125 mil Bap a L, P y Ah, y un equivalente a \$123. Lo contrario ocurre en la bodega de V, con 75 mil Bap a P y Ah, y un costo de \$27.6.
- Los costos mínimos de todo el servicio de transporte en las variaciones 1, 2 y 3 fueron de \$156.6, \$179.4 y \$150.6, respectivamente.

¹ Las cantidades se expresan en pesos mexicanos.

El óptimo del escenario 1 sería la variación 3, con una participación de los almacenes N y V de 62.5% y 37.5%, respectivamente. Sin embargo, en este caso se podría considerar cualquier variación adaptable a las necesidades de la organización porque la oferta y la demanda son iguales.

Los resultados obtenidos en el escenario 1 validan la hipótesis inicial planteada, porque se determinó el costo mínimo total del servicio de transporte, los costos y cantidades a enviar, así como una ruta según las necesidades de pedido de los clientes.

Escenario 2. Presentación de 1000 ml de Ape

El segundo escenario permitió determinar la cantidad, costo y rutas para realizar el servicio del suministro de Bap en la presentación de 1000 ml (Figura 2).

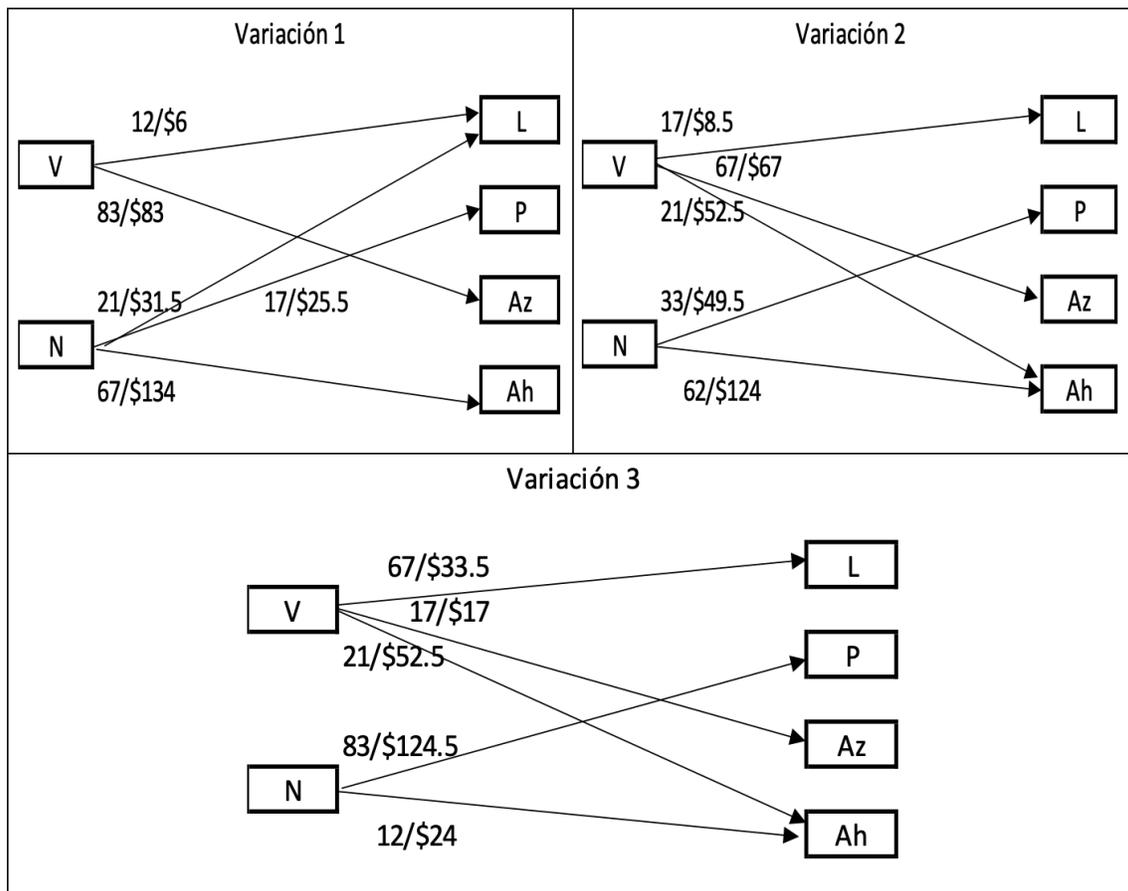


Figura 2. Comportamiento del escenario 2.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 2 muestra el comportamiento del escenario 2 en cuanto a cantidad, costo y rutas para realizar el servicio del suministro de Bap en la presentación de 1000 ml:

- La variación 1 deduce que el almacén que tendrá mayor cantidad de envíos es N, con 105 mil Bap a L, P y Ah, y un equivalente a \$191. Lo contrario ocurre en la bodega de V, con 95 mil Bap a L, P y Az, y un costo de \$89.

- La variación 2 alude que el almacén que tendrá mayor cantidad de envíos es V, con 105 mil Bap a L, Az y Ah, y un equivalente a \$128. Lo contrario ocurre en la bodega de N, con 95 mil Bap a P y Ah, y un costo de \$173.5.
- La variación 3 indica que el almacén que tendrá mayor cantidad de envíos es V, con 105 mil Bap a L, Az y Ah, y un equivalente a \$103. Lo contrario ocurre en la bodega de N, con 95 mil Bap a P y Ah, y un costo de \$148.5.
- Los costos mínimos de todo el servicio de transporte en las variaciones 1, 2 y 3 fueron de \$280, \$301.5 y \$251.5, respectivamente.

El óptimo del escenario 2 sería la variación 3, con una participación de los almacenes V y N de 52.5% y 47.5%, respectivamente. Sin embargo, en este caso se podría considerar cualquier variación adaptable a las necesidades de la organización porque la oferta y la demanda son iguales.

Los resultados obtenidos en el escenario 2 validan la hipótesis inicial planteada porque se determinó el costo mínimo total del servicio de transporte, los costos y cantidades a enviar, así como una ruta según las necesidades de pedido de los clientes.

Escenario 3. Presentación de 2000 ml de Ape

El tercer escenario permitió determinar la cantidad, costo y rutas para realizar el servicio del suministro de Bap en la presentación de 2000 ml (Figura 3).

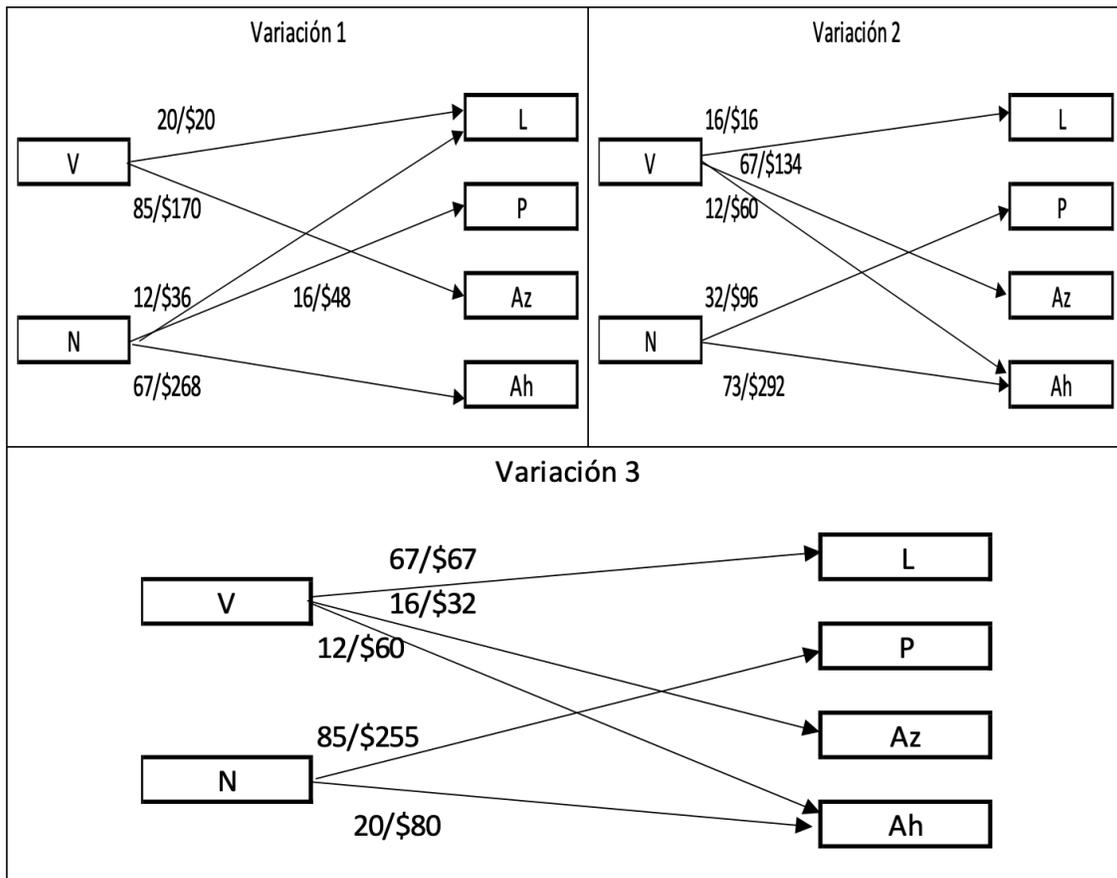


Figura 3. Comportamiento del escenario 3.
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 3 muestra el comportamiento del escenario 3 en cuanto a cantidad, costo y rutas para realizar el servicio de suministro de Bap en la presentación de 2000 ml:

- La variación 1 deduce que el almacén que tendrá mayor cantidad de envíos es V, con 105 mil Bap a L y Az, y un equivalente a \$190. Lo contrario ocurre en la bodega de N, con 95 mil Bap a L, P y Ah, y un costo de \$352.
- La variación 2 demuestra que el almacén que tendrá mayor cantidad de envíos es N, con 105 mil Bap a P y Ah, y un equivalente a \$388. Lo contrario ocurre en la bodega de V, con 95 mil Bap a L, Az y Ah, y un costo de \$173.5.
- La variación 3 indica que el almacén que tendrá mayor cantidad de envíos es N, con 105 mil Bap a P y Ah, y un equivalente a \$335. Lo contrario ocurre en la bodega de Vallejo, con 95 mil Bap a L, Az y Ah, y un costo de \$159.
- Los costos mínimos de todo el servicio de transporte en las variaciones 1, 2 y 3 fueron de \$542, \$598 y \$494, respectivamente.

El óptimo del escenario 3 sería la variación 3, con una participación de los almacenes V y N de 52.5% y 47.5%, respectivamente. Sin embargo, en este caso se podría considerar cualquier variación adaptable a las necesidades de la organización porque la oferta y la demanda son iguales.

Los resultados obtenidos en el escenario 3 validan la hipótesis inicial planteada porque se determinó el costo mínimo total del servicio de transporte, los costos y cantidades a enviar, así como una ruta según las necesidades de pedido de los clientes.

Discusión

Los hallazgos en el estudio fueron cuatro factores que son esenciales para solucionar una problemática de incertidumbre, y estos son: la cantidad y costo de envío, la ruta óptima y el costo mínimo de todo el servicio de transporte. El determinar los cuatro factores en el estudio significa tener herramientas cualitativas y cuantitativas que puedan generar una toma de decisiones estratégicas en pro de la eficiencia de los recursos de la organización y estar preparados ante alguna contingencia.

Los resultados obtenidos tienen confiabilidad y fiabilidad porque otros precursores han aplicado la misma herramienta para mitigar situaciones similares, tal como los dos siguientes. (1) Pečený *et al.* (2020) mencionan que la logística es una disciplina en evolución dinámica, por lo que aborda la optimización de los procesos de transporte dentro de una cadena logística, empleando la información obtenida a través del análisis del estado actual de una parte seleccionada de la cadena logística de una empresa seleccionada para elaborar una propuesta de medidas dentro de los procesos de transporte, y posteriormente evaluarlas desde el punto de vista económico. Para lograr el objetivo debieron dividirse en una parte teórico-metodológica y otra parte de aplicación. El objetivo de la optimización se centra en un uso más eficaz de los medios de transporte, las tecnologías y los recursos humanos. La parte de la aplicación contiene un análisis de las rutas de transporte y una optimización utilizando métodos de investigación operativa. El trabajo aplica los métodos del vecino más cercano y el método de aproximación de Vogel. La conclusión del trabajo fue la evaluación de las rutas optimizadas, y los resultados fueron aportaciones económicas y sugerencias para la mejora de los procesos de negocio. (2) Girón *et al.* (2021) menciona que la efectividad del MT se demuestra al ser la mayor aplicación en la solución de temas relacionados con la industria y el comercio en general, dado que desde el comienzo toma en consideración los costos unitarios de cada una de las diferentes rutas posibles para minimizar el costo total de la operación.

En la investigación hubo baja variabilidad en cuanto a los resultados porque la demanda, la oferta, el cliente y los costos unitarios eran iguales, sólo variaron los pedidos a entregar. Sin embargo, aun con esa situación, se valida que la metodología e hipótesis inicial es efectiva porque la resultante propone soluciones específicas y concretas ante las problemáticas actuales.

El estudio puede considerarse como una base para futuras investigaciones en diferentes sectores en donde se pueda aplicar la metodología, no es limitativo siempre y cuando se cuente con la información para aplicarlo. Al implementarlo se obtendrán beneficios generales a la organización.

Contraste de los resultados

La empresa mencionó que cada una de las dos bodegas tenían que repartir 100 mil botellas de agua embotellada a los cuatro destinos; sin embargo, esta cifra no resulta apropiada debido a las variaciones en la demanda del mercado. El estudio propuesto permite corregir esta problemática en el corto plazo, como se detalla en los siguientes párrafos.

El esquema de trabajo en cada uno de los almacenes, en cuanto a la disponibilidad del producto a enviar, genera desabasto o acumulación de inventarios tanto interna como externamente. Por ejemplo, la presentación de 600 ml tuvo un déficit de 25 mil Bap, mientras que en las de 1000 ml y 2000 ml hubo un faltante de 5 mil Bap en cada una. La solución a esta situación del 100% es aplicar las herramientas de este estudio, ya que permiten una respuesta rápida en la definición exacta de disponibilidad del producto terminado con antelación para la preparación o ajuste necesario en el almacén correspondiente.

La organización señaló que enfrentaba problemas debido a la cantidad incorrecta de productos solicitados y a la duplicidad en los embarques, con un 2% y 1%, respectivamente. Aunque estos porcentajes son pequeños, no deberían ocurrir, ya que impactan en los tiempos de operación y generan costos adicionales por devoluciones y cambios.

La solución al 100% para esta alternativa es aplicar esta herramienta, ya que no implica pérdida de tiempo en la operación y permite eliminar todas estas problemáticas con informes de antelación sobre la cantidad específica a enviar a los destinos de manera exacta y precisa.

Adicionalmente, el estudio posibilitó el diseño de rutas de suministro óptimas ante los cambios en las variaciones de pedidos de los clientes, lo que repercute en un control óptimo de recursos para lograr el costo mínimo de la operación. El modelo de MAV usado en el estudio demostró un costo inferior en las presentaciones de 600 ml, 1000 ml y 2000 ml del 28%, 31% y 34%, respectivamente, en toda la operación del proceso que utiliza la organización.

Al aplicar este estudio a mediano y largo plazo, se podrá perfeccionar la optimización de los recursos internos y externos de la organización, ya que la metodología y la operación pueden trabajarse conjuntamente, permitiendo analizar, detectar y actuar profundamente para eliminar problemáticas y contemplar posibles contingencias.

Conclusiones

La metodología generó información para la toma de decisiones en la planeación, de ahí se demuestra su efectividad para cualquier tipo de industria con dificultades logísticas de transporte. Por lo tanto, se cumple la hipótesis inicial al validarse que el método de aproximación Vogel soluciona de manera óptima el envío de producto en cuanto a costo y cantidad, ruta y costo total de servicio. Sin embargo, las limitaciones en las conclusiones se deben a la escasa información obtenida de la empresa, la cual es confidencial debido a su naturaleza de secreto industrial.

Los escenarios de la investigación indicaron que los costos de envío de mercancías son proporcionales a las distancias; entre más alejados estén los oferentes, más altos son los costos de llevar el producto. También, se demostró que al tener bajos costos de transporte se concederá mayor beneficio si se consigue obtener el costo mínimo del servicio de transporte; se tiene un sistema económico y eficiente. Finalmente, el auxiliarse de *software* especializados permite solucionar problemas complejos certeramente, en este caso el logaritmo de transporte mitiga la incertidumbre.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflictos de intereses financieros ni personales que puedan influir inapropiadamente en el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- Ackora-Prah, J., Acheson, V., Owusu-Ansah, E., & Nkrumah, S. K. (2023). A proposed method for finding initial solutions to transportation problems. *Pakistan Journal of Statistics & Operation Research*, 19(1), 63-75. <https://doi.org/10.18187/pjsor.v19i1.4196>
- Ali Sajjadi, S., Alipour, V., Matlabi, M., & Biglari, H. (2015). Consumer perception and preference of drinking water sources. *Electronic Physician*, 7(1), 971-976. <https://doi.org/10.19082/3228>
- Amaliah, B., Fatichah, C., & Suryani, E. (2022). A supply selection method for better feasible solution of balanced transportation problem. *Expert Systems with Applications*, 203, 117399. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117399>
- Aroniadi, C., & Beligiannis, G. N. (2023). Applying particle swarm optimization variations to solve the transportation problem effectively. *Algorithms*, 16(8), 372. <https://doi.org/10.3390/a16080372>
- Azad, S. M. A. K., & Hasan, M. K. (2019). An effective algorithm to solve cost minimizing transportation problem. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 15(4), 434-445. <https://ideas.repec.org/a/ids/ijmore/v15y2019i4p434-445.html>
- Babu, A., Hoque, M. A., & Uddin, S. (2020). A heuristic for obtaining better initial feasible solution to the transportation problem. *Opsearch*, 57(1), 221-245. <https://doi.org/10.1007/s12597-019-00429-5>
- Barboza, D., González, C., & Montero, N. (2018). Propuesta de rutas inteligentes para los centros de procesamiento y mercadeo de alimentos (Cepromas) de las zonas de Guatuso y Upala, Costa Rica. *E-Agronegocios*, 4(1), 1-19. <https://doi.org/10.18845/rea.v4i1.3638>
- Beverage Marketing Corporation. (2023). *Planning insights for beverage professionals*. The Beverage Strategist. <https://mailchi.mp/beveragemarketing/beveragestrategist>
- Bisht, M., & Dangwal, R. (2022). Solving interval-valued transportation problem using a new ranking function for octagonal fuzzy numbers. *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing*, 3(5). <https://doi.org/10.1142/S1793962322500398>
- Da Silva, I., Rodrigues, N., Cardoso, V., Correa, M. J., & Maia, M. A. (2018). Minimização dos custos de frete na distribuição de cimento por programação linear. *Revista Eniac Pesquisa*, 7(1), 97-108. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6268344>

- Diario Oficial de la Federación (DOF). (22 de diciembre de 2015). Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2015, *Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel*. Especificaciones sanitarias. Secretaría de Salud (SS).
https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5420977&fecha=22/12/2015#gsc.tab=0
- Ekanayake, E. M. D. B., & Ekanayake, E. M. U. S. B. (2022). Performance of the best solution for the prohibited route transportation problem by an improved Vogel's approximation method. *Indonesian Journal of Applied Research (IJAR)*, 3(3), 190–206. <https://doi.org/10.30997/ijar.v3i3.241>
- Girón, M. F., López, J. R., & Sornoza, K. J. (2021). Solution to the transportation problem practical application. *Ecuadorian Science Journal*, 5(4), 61-73. <https://doi.org/10.46480/esj.5.4.170>
- González, A. L., & García, G. A. (2015). *Manual práctico de investigación de operaciones 1*. Editorial Universidad del Norte. <https://doi.org/10.2307/j.ctvdf0jz0>
- Gonçalves, W. (2020). Problema de transporte em pequenos negócios: uma proposta a partir do Vogel's approximation method. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 12(24), 1–17.
<https://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/v12n2404>
- Güldağı, L. S. (2019). Harekât ortamında mühimmat lojistiğinin optimizasyonu. *Atatürk Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi*, 33(2), 653-684. <https://dergipark.org.tr/en/pub/atauniibd/issue/44281/433358>
- Guerrero, S. H. (2009). Programación lineal aplicada. Ecoe Ediciones.
- Hadson, W. K. (1996). Manual del ingeniero industrial IV. Mc Graw Hill.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2018). *Introducción a la investigación de operaciones*. Mc Graw Hill.
https://frh.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/54151/mod_resource/content/1/Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Investigaci%C3%B3n%20de%20Operaciones%20%289na%20ed%29%20-%20Hillier%20%20Lieberman.pdf
- Hlatká, M., Bartuška, L., & Ližbetin, J. (2017). Application of the Vogel approximation method to reduce transport-logistics processes. *MATEC Web of Conferences*, 134, 1-8.
<http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/201713400019>
- Hemalatha, V., Mullai, M., Santhi, P. K., & Meenakshi, R. (2023). Solving neutrosophic fuzzy transportation problem of type-II. *Neutrosophic Sets & Systems*, 61(1), 523–533.
https://digitalrepository.unm.edu/nss_journal/vol61/iss1/28
- Hossain, M., & Ahmed, M. (2020). A comparative study of initial basic feasible solution by a least cost mean method (LCMM) of transportation problem. *American Journal of Operations Research*, 10(4), 122-131.
<https://doi.org/10.4236/ajor.2020.104008>
- Latunde, T., Richard, J. O., Esan, O. O., & Dare, D. D. (2021). Optimal value and post optimal solution in a transportation problem. *Journal of Nonlinear Modeling & Analysis*, 3(3), 335–348.
<https://doi.org/10.12150/jnma.2021.335>
- Mauleón, M. (2006). *Logística y costos*. Ediciones Díaz de Santos.
- Montero-Contreras, D. P. (2016). Consumo de agua embotellada en la Ciudad de México desde una perspectiva institucional. *Agua y Territorio / Agua y Paisaje*, (7), 35–49. <https://doi.org/10.17561/at.v0i7.2961>
- Montenegro, L. H., Aray, C. A., Guillen, J. G., & Guerrero, Y. (2023). Una estrategia para mejorar el transporte urbano, en Portoviejo, capital de la provincia de Manabí utilizando el método Simplex. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria Pentaciencias*, 5(2), 381–388.
<https://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/598>
- Mordor Intelligence. (01 de 01 de 2022). *Industry Research Report*. MordorIntelligence.com.
<https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/bottled-water-market>
- Moreno, G. U., & Santana, D. S. (2022). La estadística en la investigación en modelos de transporte. *Polo del Conocimiento*, 7(12), 1266-1280.
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/5062>
- Morote, Á. F. (2017). Factores que inciden en el consumo de agua doméstico. Estudio a partir de un análisis bibliométrico. *Estudios Geográficos*, 78(282), 257-281. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201709>

- Oliveira, M. A., Ferraz, M., Ferreira, R., & de Souza, M. D. (2022). Aplicação da pesquisa operacional para o problema de transporte. *GeSec: Revista de Gestão e Secretariado*, 13(3), 684–688. <https://doi.org/10.7769/gesec.v13i3.1349>
- Palacios, R. (2017). *Investigación de operaciones I*. Alfaomega. <https://www.alphaeditorialcloud.com/reader/investigacion-de-operaciones-i?location=1>
- Pečený, L., Meško, P., Kampf, R., & Gaš, J. (2020). Optimization in transport and logistic processes. *Transportation Research Procedia* (44), 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.003>
- Rao, S. S. (2009). *Engineering optimization: theory and practice*. JOHN WILEY & SONS, INC. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119454816>
- Render, B., Stair, R. M., & Hale, T. S. (2016). *Métodos cuantitativos para los negocios*. Pearson. <https://pdfcoffee.com/render-2012-pdf-pdf-free.html>
- Shalini, K., Noor J., & Polasi, S. (2022). Optimization Techniques in Transportation Problem. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 13, 2609–2622. <https://doi.org/10.47750/pnr.2022.13.S07.354>
- Szkutnik-Rogoż, J., Ziółkowski, J., Małachowski, J., & Oszczypała, M. (2021). Mathematical programming and solution approaches for transportation optimisation in supply network. *Energies*, 14(21), 7010. <https://doi.org/10.3390/en14217010>
- Szromek, A. R. (2018). Application of optimization methods in planning of patients accommodation in the spa companies. *Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization & Management / Zeszyty Naukowe Politechniki Slaskiej. Seria Organizacji i Zarzadzanie*, 119, 289–300. <https://bibliotekanauki.pl/articles/323241>
- Taha, H. A. (2011). *Investigación de operaciones*. Pearson Educación. https://www.academia.edu/34227970/_Taha_Investigacion_De_Operaciones_9na_Edicion
- Tarafdar, A., Sarkar, S., Das, R. K., & Khatua, S. (2023). Power modeling for energy-efficient resource management in a cloud data center. *Journal of Grid Computing*, 21(10). <https://doi.org/10.1007/s10723-023-09642-5>
- Wali, M., Alhaz, M., & Kawser, R. (2016). Modified Vogel's approximation method for obtaining a good primal solution of transportation problems. *Annals of Pure and Applied Mathematics*, 11(1), 63-71. <http://www.researchmathsci.org/apamart/apam-v11n1-7.pdf>
- Villamarín, J. M., Aguilar, G. J., Llamuca, J. L., & Villacrés, W. H. (2019). Modelo matemático de transporte para una empresa comercializadora de combustibles, usando programación lineal. *Visionario Digital*, 3(2), 64-81. <https://doi.org/10.33262/visionariodigital.v3i2.394>
- Ziółkowski, J., & Legas, A. (2019). Problem of modelling road transport. *Journal of Konbin*, 49(3), 159–193. <https://doi.org/10.2478/jok-2019-0055>