

Proyecto Fordecyt 291766: Plataforma logística como elemento detonador del desarrollo en el Istmo de Tehuantepec

Producto 1

Repositorio digital de modelos de logística territorial para la reconfiguración de las redes de distribución asociadas a las principales cadenas de suministro de la región.

Mayo 2019

FICHA DE ENTREGABLE

Título del Informe: Plataforma logística como elemento detonador del desarrollo en el Istmo de Tehuantepec

Nombre del entregable al cual pertenece: Repositorio digital de modelos de logística territorial para la reconfiguración de las redes de distribución asociadas a las principales cadenas de suministro de la región

Objetivo principal planteado: Identificar un conjunto de modelos de localización de instalaciones, cobertura, redes y distribución que puedan contribuir a mejorar el desempeño de las cadenas de suministro de la región del Istmo de Tehuantepec en el mediano o largo plazo.

Alcance del documento: El repositorio digital consistió en una revisión sistemática de la literatura para la identificación, clasificación de modelos asociados a la toma de decisiones para la reconfiguración de redes de distribución clasificados en cuatro categorías principales: 1) localización; 2) cobertura; 3) diseño de cadenas de suministro o redes; y 4) Distribución. A fin de no trasgredir los derechos de autor, el repositorio está integrado por una descripción general de cada una de las categorías previamente referidas y de una relación con los nombres de los artículos científicos y su Identificador de Objeto Digital (DOI -por sus siglas en inglés –*Digital Object Identifier*). Este repositorio será de utilidad para académicos interesados en conocer e identificar modelos y métodos asociados a la toma de decisiones en cadenas de suministro y a tomadores de decisiones interesados en explorar alternativas científicas para darle soporte a las decisiones asociadas a sus negocios o cadenas de suministro.

Instituciones participantes: CentroGeo y CIATEJ

Investigadores:	Contacto:
Ma. Loecelia Guadalupe Ruvalcaba Sánchez	lruvalcaba@centrogeo.edu.mx
Dr. Néstor Miguel Cid García	ncid@centrogeo.edu.mx
Dr. Juan Gabriel Correa Medina	gcorrea@centrogeo.edu.mx
Dr. Yair Romero Romero	yromero@ciatej.mx

Contenido

Introducción.....	1
Modelos de Localización	1
Modelos de Cobertura	9
Diseño de Cadena de Suministro	16
Modelos de Distribución	30

Introducción

La teoría de la localización, los modelos de cobertura, el diseño de cadenas de suministros y los modelos de distribución se aplican con la idea de obtener la mayor rentabilidad de las operaciones respecto a su inversión tratando de cumplir además con una serie de objetivos y restricciones impuestas por las empresas, gobiernos y/o el medio (económico, social o ecológico) en el cual desarrollan sus actividades. Todas estas decisiones representan un factor crítico en la planeación estratégica de una amplia gama de empresas públicas y privadas, y tienen influencia en numerosas decisiones operativas y logísticas futuras.

Las decisiones ancladas a estos modelos representan además una inversión considerable y, generalmente, una vez puestas en marcha, se dispone de poca o nula flexibilidad para proceder a correcciones sin incurrir en serias consecuencias. En este sentido, los modelos que a continuación se presentan pueden convertirse en herramientas vitales para el análisis de proyectos nuevos o de expansión en el Istmo de Tehuantepec que serán vitales para los inversionistas, pobladores, gobiernos y demás actores anclados al territorio desde el punto de vista financiero-económico-social-ambiental, pero sobretodo que, empleados de manera concienzuda e integral pueden contribuir a la profesionalización de la toma de decisiones y a la consecuente promoción de un desarrollo territorial armónico y prometedor.

Modelos de Localización

En este problema se tiene un conjunto de ubicaciones de clientes con demandas conocidas y un conjunto de ubicaciones candidatas en donde se pueden establecer las instalaciones. Si se desea ubicar una instalación en un sitio candidato entonces se incurre en un costo fijo asociado a la ubicación. Además, existe un costo de envío unitario conocido entre cada sitio candidato y la ubicación de cada cliente. El objetivo de este problema es encontrar la ubicación de las instalaciones y el patrón de envío entre las instalaciones y los clientes, de manera que se minimicen los costos de ubicación y de envío, sujeto al requisito de que se cumplan todas las demandas de los clientes. La notación utilizada para el modelo es la siguiente:

Índices

- I : denota el conjunto de ubicaciones de los clientes, donde $(i = 1, 2, \dots, I)$.
- J : denota el conjunto de sitios para ubicar las instalaciones, donde $(j = 1, 2, \dots, J)$.

Parámetros

- c_{ij} : es el costo unitario por enviar productos entre el sitio j y el cliente i .
- h_i : es la cantidad de demanda del cliente en la ubicación i .
- f_j : es el costo fijo por ubicar una instalación en el sitio candidato j .

Variables

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{Si una instalación es ubicada en el sitio } j. \\ 0 & \text{En otro caso.} \end{cases}$$

y_{ij} = cantidad de demanda del cliente i servida por la instalación del sitio j .

Formulación Matemática

$$\text{Minimizar } z = \sum_{i \in I} h_i c_{ij} y_{ij} + \sum_{j \in J} f_j x_j \quad (1)$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_{j \in J_i} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$y_{ij} - x_i \leq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$y_{ij} \geq 0 \quad i \in I, \forall j \in J \quad (5)$$

donde la función objetivo (1) minimiza el costo total (costo de envío + costo fijo) de configurar y operar la red. Las restricciones en las ecuaciones (2) determinan que la demanda de cada nodo es completamente asignada. En (3) se asegura que la demanda de cada cliente es asignada solamente a instalaciones abiertas. En (4) y (5) se determina la naturaleza de las variables utilizadas en el modelo. Para este caso, se asume que la capacidad de las instalaciones es infinita.

Áreas de aplicación

- Industria ladrillera.
- Seguridad.
- Instalaciones públicas (Bomberos).
- Ubicaciones no deseadas.
- Telecomunicaciones.
- Logística inversa.
- Empresas de servicios.
- Rastros.
- Terminales de transporte.
- Centros comerciales.
- Estaciones de ferrocarril.
- Centros logísticos.

Artículos de referencia:

Título	Digital Object Identifier (DOI)
A bicriteria model for locating a semi-	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00251-

Título	Digital Object Identifier (DOI)
desirable facility in the plane	8
A bi-objective uncapacitated facility location problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00168-3
A BSSS algorithm for the single facility location problema in two regions with different norms	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.06.004
A comparison of Lagrangean and surrogate relaxations for the maximal covering location problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00171-X
A competitive facility location model with elastic demand and patronising behaviour sensitive to location, price and waiting time	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2011.043119
A continuous location model for siting a non-noxious undesirable facility within a geographical region	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00216-7
A dynamic programming heuristic for the P-median problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00218-4
A fuzzy simple additive weighting system under group decision-making for facility location selection with objective/subjective attributes	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.05.006
A gamma heuristic for the p-median problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00268-9
A genetic algorithm approach to solving the anti-covering location problem	https://doi.org/10.1111/j.1468-0394.2006.00407.x
A geometrical solution for quadratic bicriteria location models	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00187-8
A hybrid heuristic for the uncapacitated hub location problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00286-5
A hypermarket site selection model using the grey multi-objective decision method	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2006.008218
A knowledge-based genetic algorithm for a capacitated fuzzy p-hub centre network under uncertain information	https://doi.org/10.1111/exsy.12262
A Lagrangean relax-and-cut approach for the two-stage capacitated facility location problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00300-8
A linear program for the two-hub location problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00233-0

Título	Digital Object Identifier (DOI)
A location-routing problem for the conversion to the “click-and-mortar” retailing: The static case	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.01.048
A logit-based model for facility placement planning in supply chain management	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2015.065976
A model for supply chain networks	https://doi.org/10.26634/jmgt.1.4.382
A Multicriteria Warehouse Location Model	https://doi.org/10.1108/eb014482
A multi-objective logistics model for a capacitated service facility problem	https://doi.org/10.1108/09600039910253887
A multi-objective model for locating fire stations	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00247-6
A multiperiod two-echelon multicommodity capacitated plant location problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00256-8
A new assignment rule to improve seed points algorithms for the continuous k-center problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00191-4
A note on the location of an obnoxious facility on a network	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00237-9
A reduction result for location problems with polyhedral barriers	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00399-9
A repeated matching heuristic for the single-source capacitated facility location problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00045-9
Algorithms for the robust 1-center problem on a tree	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00257-X
An adaptation of SH heuristic to the location set covering problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00181-6
An efficient tabu search procedure for the p-Median Problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00141-5
An exact algorithm for the capacitated facility location problems with single sourcing	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00008-3
An exact algorithm for the fuzzy p-median problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00330-0
An exact method for the two-echelon, single-source, capacitated facility location problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00105-8
Analysis of centroid aggregation for the Euclidean distance p-median problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00010-1

Título	Digital Object Identifier (DOI)
Application of decision analysis techniques to the Weber facility location problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00084-8
Application of geographical information systems for the optimal location of a commercial network	https://doi.org/10.1108/EJMBE-07-2017-013
Coincidence conditions in multifacility location problems with positive and negative weights	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00186-0
Comparing different metaheuristic approaches for the median path problem with bounded length	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.07.001
Determining warehouse number and location in Spain by cluster analysis	https://doi.org/10.1108/09600039810205962
Distribution Capacity Planning: The Long-Term Problem	https://doi.org/10.1108/eb014451
Dynamic facility location when the total number of facilities is uncertain: A decision analysis approach	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00303-2
Efficiency in constrained continuous location	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00184-7
Efficient Benders decomposition algorithms for the robust multiple allocation incomplete hub location problem with service time requirements	https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.10.005
Efficient solution procedure and reduced size formulations for p-hub location problems	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00201-4
Exact and heuristic algorithms for the uncapacitated multiple allocation p-hub median problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00340-2
Exact solution methods for uncapacitated location problems with convex transportation costs	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00039-3
Generalized p-Center problems: Complexity results and approximation algorithms	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00076-8
Heuristic concentration: two stage solution construction	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00100-2
Inequality measures and equitable approaches to location problems	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00240-4

Título	Digital Object Identifier (DOI)
Integer programming formulations for three sequential discrete competitive location problems with foresight	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.08.041
Kohonen maps for solving a class of location-allocation problems	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00046-5
Lagrangian heuristics for the two-echelon, single-source, capacitated facility location problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00227-5
Lagrangian-relaxation-based solution procedures for a multiproduct capacitated facility location problem with choice of facility type	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00303-8
Locating least-distant lines in the plane	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00254-3
Locating urban logistics terminals and shopping centres in a Chinese city	https://doi.org/10.1080/13675567.2011.609159
Location analysis of logistics centres in Laos	https://doi.org/10.1080/13675567.2013.812194
Location of an undesirable facility in a polygonal region with forbidden zones	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00138-6
Location of hubs in a competitive environment	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00195-7
Locational optimization problems solved through Voronoi diagrams	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)80001-X
Models for determining depot location	https://doi.org/10.1108/eb014256
Network distance characteristics that affect computational effort in p-median location problems	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00336-7
Network hub location problems: The state of the art	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.06.008
New modeling approaches for the design of local access transport area networks	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00325-2
On the collection depots location problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00410-5
On the feasible set for the squared Euclidean Weber problem and applications	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00316-6
On the lexicographic minimax approach to location problems	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00154-3
On the single-assignment p-hub center problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00274-X

Título	Digital Object Identifier (DOI)
Optimal pricing and terminal location for a rail–truck intermodal service – a case study	https://doi.org/10.1080/13675567.2011.643778
Optimising multi-objective location decisions in a supply chain using an AHP-enhanced goal-programming model	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2010.03198
Optimising the Location-Allocation Problem with Multiple Objectives	https://doi.org/10.1108/eb014448
Optimum location for export-oriented slaughterhouses in Mato Grosso, Brazil: a dynamic mathematical model	https://doi.org/10.1080/13675567.2011.608653
Perception and information in a competitive location model	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00137-9
Projections of the capacitated network loading problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00083-1
Promoting cost efficiency and uniformity in parcel delivery centre locations and service areas: a GISbased analysis	https://doi.org/10.1080/13675567.2015.1090962
Sequential location problems	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00216-0
Single- and multi-objective defensive location problems on a network	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.04.003
Solving a class of facility location problems using genetic algorithms	https://doi.org/10.1111/1468-0394.00229
Solving large single allocation p-hub problems with two or three hubs	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00370-7
Solving the Dynamic Warehouse Location Problem	https://doi.org/10.1108/eb014375
Some new algorithms for location problems on networks	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00185-9
Some personal views on the current state and the future of Locational Analysis	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00183-5
Some reverse location problems	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00122-8
Strategic facility location: A review	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00186-6
The capacitated multiple allocation hub location problem: Formulations and algorithms	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00395-6

Título	Digital Object Identifier (DOI)
The dynamic relocation and phase-out of a hybrid, two-echelon plant/warehousing facility: A multiple objective approach	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00166-6
The fuzzy p-median problem: A global analysis of the solutions	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00500-7
The Location of Facilities With Constraints on Capacities	https://doi.org/10.1108/eb014357
The Logistics of Industrial Location Decisions: An Application of the Analytic Hierarchy Process Methodology	https://doi.org/10.1080/713682767
The Multi-Criteria Warehouse Location Problem Revisited	https://doi.org/10.1108/eb014658
The multi-hour service system design problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00397-5
The Multiproduct Warehouse Location Problem: Applying a Decomposition Algorithm	https://doi.org/10.1108/09600039310044858
The plant location problem with demand-dependent setup costs and centralized allocation	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00361-5
The p-median problem under uncertainty	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.05.045
The return plant location problem: Modelling and resolution	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00192-6
The uncapacitated multi-period facilities location problem with profit maximization	https://doi.org/10.1108/09600039910283640
The Use of Quantitative Techniques in Warehouse Location	https://doi.org/10.1108/eb014430
The weber problem with regional demand	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00190-2
Undesirable facility location with minimal covering objectives	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00335-X
Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00289-1
Weber problems with alternative transportation systems	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00066-5

Modelos de Cobertura

En el problema de Localización de Máxima Cobertura el objetivo es cubrir (servir) la máxima cantidad de población a partir de una(s) estación(es) de servicio establecida(s), considerando un límite de distancia o tiempo de servicio. Además, se utilizan un número restringido de instalaciones o estaciones de servicio.

La notación matemática para este problema se puede definir de la siguiente manera:

Índices

I : denota el conjunto de puntos de demanda, donde $(i = 1, 2, \dots, I)$.

J : denota el conjunto de sitios para ubicar las instalaciones, donde $(j = 1, 2, \dots, J)$.

Parámetros

S : es la distancia a partir de la cual un punto de demanda es considerado “no cubierto” (si se desea, el valor de máxima distancia S puede ser escogido de forma diferente para cada punto de demanda).

d_{ij} : es la distancia más corta desde el punto de demanda en el nodo i hasta la estación de servicio en el nodo j .

N_i : representa el conjunto de sitios para ubicar las instalaciones, los cuales son elegibles para “cubrir” la demanda del punto i . La demanda de un nodo es cubierta cuando la instalación más cercana a ese nodo se encuentra a una distancia menor o igual a S . La demanda del punto i “no es cubierta” cuando la instalación más cercana a ese nodo se encuentra a una distancia mayor que S .

$$N_i = \{j \in J | d_{ij} \leq S\}.$$

a_i : es la cantidad de población a ser servida en el nodo i .

p : es el número de instalaciones a ser ubicadas.

Variables

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{Si una instalación es ubicada en el sitio } j. \\ 0 & \text{En otro caso.} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{Si la demanda del nodo } i \text{ es cubierta por una instalación} \\ & \text{ubicada dentro de la distancia } S. \\ 0 & \text{En otro caso.} \end{cases}$$

Formulación Matemática

$$\text{Maximizar } z = \sum_{i \in I} a_i y_i \quad (1)$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = P \quad (3)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (5)$$

En la función objetivo Eq. (1) se maximiza el número de personas que adquieren el servicio o son “cubiertas” dentro de la distancia de servicio deseada. Las restricciones en Eq. (2) permiten que y_i sea igual a 1 solamente cuando una o más instalaciones son establecidas en sitios que se encuentran en el conjunto N_i , es decir, una o más instalaciones han sido ubicadas dentro de la distancia S del punto de demanda i . El número de instalaciones ubicadas es restringido a un valor igual a P , el cual se representa en las restricciones de la Eq. (3). La solución de este problema determina no solamente la mayor cantidad de población que puede ser cubierta, sino que también se especifica el número P de instalaciones que logran la máxima cobertura.

Una formulación equivalente al problema de máxima cobertura puede ser derivado al sustituir $1 - \bar{y}_i = y_i$, donde:

$$\bar{y}_i = \begin{cases} 1 & \text{Si la demanda del nodo } i \text{ no es cubierta por una instalación} \\ & \text{ubicada dentro de la distancia } S. \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases}$$

Las restricciones en (2) se pueden reescribir como:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 - \bar{y}_i \quad \forall i \in I$$

Lo cual es equivalente a:

$$\sum_{j \in N_i} x_j + \bar{y}_i \geq 1 \quad \forall i \in I$$

Después de la sustitución de variables, la función objetivo puede ser escrita como:

$$\text{Maximizar } z = \left(\sum_{i \in I} a_i + \sum_{i \in I} -a_i \bar{y}_i \right)$$

Note que la primer sumatoria es una constante conocida. Debido a que la maximización de una cantidad negativa es equivalente a la minimización de una cantidad positiva, entonces la función objetivo puede ser simplificada como:

$$\text{Minimizar } z = \sum_{i \in I} a_i \bar{y}_i$$

En este caso, la función objetivo puede ser interpretada como minimizar el número de gente que no será servida “cubierta” dentro de la distancia de servicio máxima. El modelo completo quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Minimizar } z = \sum_{i \in I} a_i \bar{y}_i \quad (1)$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_{j \in N_i} x_j + \bar{y}_i \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = P \quad (3)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$\bar{y}_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (5)$$

Esta versión del problema busca minimizar la población “no cubierta” dado un número P de instalaciones que son localizadas sobre una red de distribución.

El problema de máxima cobertura ha sido resuelto de manera óptima utilizando diversos métodos de programación lineal y heurísticas. A continuación, se presentan algunas áreas de aplicación y algunos artículos de referencia en donde se pueden encontrar diversas versiones y metodologías de solución del problema.

2. Áreas de Aplicación

- Vehículos de emergencia.
- Problemas forestales.
- Servicios de salud.
- Seguridad pública: Áreas de patrullaje de la policía.
- Logística Humanitaria.

- Tecnologías de Información. Redes para sensores inalámbricos.

3. Artículos de referencia

Título	Digital Object Identifier (DOI)
A comparison of Lagrangean and surrogate relaxations for the maximal covering location problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00171-X
A hybrid metaheuristic algorithm for the multi-depot covering tour vehicle routing problem	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.10.048
A Lagrangean heuristic for the maximal covering location problem	https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00159-6
A maximal covering location model in the presence of partial coverage	https://doi.org/10.1016/S0305-0548(03)00105-9
A Maximum Expected Covering Location Model: Formulation, Properties and Heuristic Solution	https://doi.org/10.1287/trsc.17.1.48
A multiperiod set covering location model for dynamic redeployment of ambulances	https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.04.003
A note on solutions to the maximal expected covering location problem	https://doi.org/10.1016/S0305-0548(01)00083-1
A probabilistic analysis of the maximal covering location problem	https://doi.org/10.1016/0166-218X(93)90006-A
Analysis of Errors Due to Demand Data Aggregation in the Set Covering and Maximal Covering Location Problems	https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1990.tb00199.x
Applications of the Location Set-covering Problem	https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1976.tb00529.x
Bike-sharing stations: A maximal covering location approach	https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.09.014
Computational experience with approximation algorithms for the set covering problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00161-0
Covering problems in facility location: A review	https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.08.020
Covering-Location Models for Emergency Situations That Require Multiple Response Units	https://doi.org/10.1287/mnsc.36.1.16

Título	Digital Object Identifier (DOI)
Determining Optimal Police Patrol Areas with Maximal Covering and Backup Covering Location Models	https://doi.org/10.1007/s11067-007-9035-6
Generalized coverage: New developments in covering location models	https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.11.003
Improving accessibility to rural health services: The maximal covering network improvement problem	https://doi.org/10.1016/j.seps.2008.02.012
Location Covering Models. History, Applications and Advancements	https://doi.org/10.1007/978-3-319-99846-6
Maximal covering location problem (MCLP) with fuzzy travel times	https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.05.031
Maximum coverage capacitated facility location problem with range constrained drones	https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.12.001
Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.11.030
Modular capacitated maximal covering location problem for the optimal siting of emergency vehicles	https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.11.013
Note—On the Maximal Covering Location Problem and the Generalized Assignment Problem	https://doi.org/10.1287/mnsc.25.1.107
Operations Research challenges in forestry: 33 open problems	https://doi.org/10.1007/s10479-015-1907-4
Optimization models in emergency logistics: A literature review	https://doi.org/10.1016/j.seps.2011.04.004
Optimizing the spatial location of medical drones	https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.11.009
Probabilistic, Maximal Covering Location—Allocation Models for Congested Systems	https://doi.org/10.1111/0022-4146.00100
Recent Applications of the Maximal Covering Location Planning (M.C.L.P.) Model	https://doi.org/10.1057/jors.1986.134
Reformulations and Computational Results for the Uncapacitated Single Allocation Hub Covering	https://doi.org/10.1007/978-3-319-55914-8_10

Título	Digital Object Identifier (DOI)
Problem	
Reserve selection as a maximal covering location problem	https://doi.org/10.1016/0006-3207(95)00102-6
Solving maximal covering location problem using genetic algorithm with local refinement	https://doi.org/10.1007/s00500-017-2598-3
Solving the maximal covering location problem with heuristic concentration	https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.03.007
Survey on Coverage Problems in Wireless Sensor Networks	https://doi.org/10.1007/s11277-014-2094-3
Tabu based heuristics for the generalized hierarchical covering location problem	https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.01.005
The Benders decomposition algorithm: A literature review	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.12.005
The capacitated maximal covering location problem with backup service	https://doi.org/10.1007/BF02097800
The Covering Salesman Problem	https://doi.org/10.1287/trsc.23.3.208
The generalized maximal covering location problem	https://doi.org/10.1016/S0305-0548(01)00079-X
The gradual covering decay location problem on a network	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00604-5
The large scale maximal covering location problem	https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.11.008
The large-scale dynamic maximal covering location problem	https://doi.org/10.1016/j.mcm.2012.07.028
The max p-regions problem	https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2011.00743.x
The maximal covering location problem	https://doi.org/10.1111/j.1435-5597.1974.tb00902.x
The Maximal Covering Location Problem with Capacities on Total Workload	https://doi.org/10.1287/mnsc.37.2.233
The maximal expected coverage relocation problem for emergency vehicles	https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601991
The maximal expected covering location problem: Revisited	https://doi.org/10.1287/trsc.23.4.277

Título	Digital Object Identifier (DOI)
The Maximum Availability Location Problem	https://doi.org/10.1287/trsc.23.3.192
The Maximum Coverage Location Problem	https://doi.org/10.1137/0604028
The median tour and maximal covering tour problems: Formulations and heuristics	https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)90149-X
The multiple gradual cover location problem	https://doi.org/10.1080/01605682.2018.1471376
The p-Median Problem	https://doi.org/10.1007/978-3-319-13111-5_2
The queuing probabilistic location set covering problem and some extensions	https://doi.org/10.1016/0038-0121(94)90003-5
Theoretical and Computational Links between the p-Median, Location Set-covering, and the Maximal Covering Location Problem	https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1976.tb00547.x

Diseño de Cadena de Suministro

El diseño de redes logísticas es uno de los campos más importantes de la Gestión de la Cadena de Suministro (SCM). Ofrece un gran potencial para reducir costos y mejorar la calidad del servicio. La eficiencia del sistema logístico está influenciada por muchos factores; uno de ellos es decidir la cantidad de centros de distribución (DCs) y, encontrar la buena ubicación para abrirlos, de tal forma que la demanda del cliente pueda satisfacerse al mínimo costo de apertura de los DCs y al costo mínimo de envío. A continuación, se presentan algunos de los modelos básicos utilizados en el diseño de la cadena de suministro.

1. Modelo Logístico de Dos Etapas

El modelo logístico de dos etapas (o problema de transporte en dos etapas: tsTP) determina la red de distribución para satisfacer la demanda de los clientes a un costo mínimo sujeto a la capacidad de la planta y de los DCs y también del número mínimo de DCs que se abrirán. El tsTP se puede definir con las siguientes suposiciones:

- Las ubicaciones de los clientes y su demanda se conocen con anticipación.
- Los números de posibles ubicaciones de DCs y sus capacidades máximas también se conocen.
- Cada instalación tiene una capacidad limitada y existe un límite sobre la cantidad de instalaciones que se abrirán.

La ilustración del problema de la logística en dos etapas y la estructura de la red se muestran en las Figuras 1 y 2.

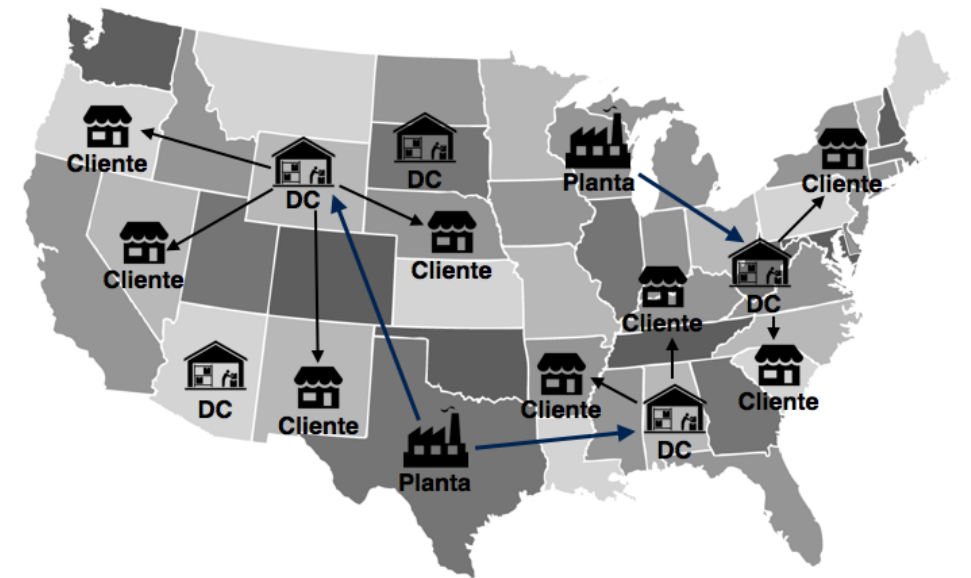


Figura 1: Problema logístico de dos etapas.

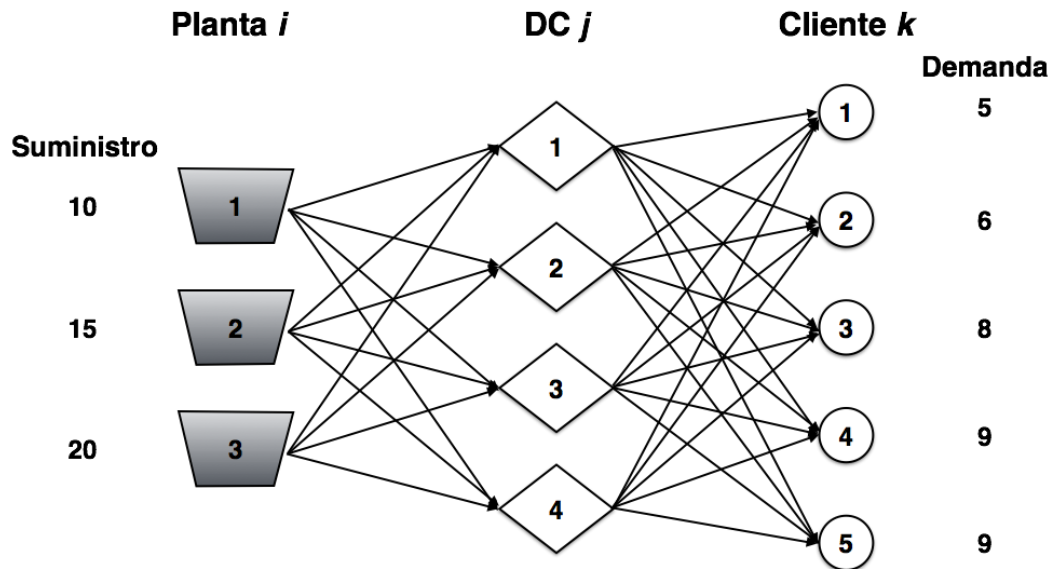


Figura 2: Modelo logístico de dos etapas.

El tsTP incluye el problema de transporte y el problema de ubicación de instalaciones. El problema se conoce como el problema de ubicación de instalaciones p -mediana capacitado y es un problema NP-Hard. La notación para formular matemáticamente el problema es la siguiente:

Índices

I : denota el conjunto de plantas, donde ($i = 1, 2, \dots, I$).

J : denota el conjunto de centros de distribución (DC), donde ($j = 1, 2, \dots, J$).

K : denota el conjunto de clientes, donde ($k = 1, 2, \dots, K$).

Parámetros

a_i : capacidad de la planta i .

b_j : capacidad del DC j .

d_k : demanda del cliente k .

t_{ij} : costo unitario de transportar desde la planta i hasta el DC j .

c_{jk} : costo unitario de transportar desde el DC j hasta el cliente k .

f_j : costo fijo por abrir el DC j .

P : límite máximo de DCs que pueden ser abiertos.

Variables

x_{ij} = cantidad de envío desde la planta i hasta el DC j .

y_{jk} = cantidad de envío desde el DC j hasta el cliente k .

$$w_j = \begin{cases} 1 & \text{Si el centro de distribución } j \text{ es abierto.} \\ 0 & \text{En otro caso.} \end{cases}$$

Formulación Matemática

$$\text{Minimizar } z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} t_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{jk} y_{jk} + \sum_{j \in J} f_j w_j \quad (1)$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_{j \in J} x_{ij} \leq a_i \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} y_{jk} \leq b_j w_j \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} w_j \leq P \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} y_{jk} \geq d_k \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} y_{jk} \quad (6)$$

$$x_{ij}, y_{jk} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (7)$$

$$w_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (8)$$

En la función objetivo (1) se minimizan los costos de envío más los costos por apertura de los centros de distribución. Las restricciones en las Eqs. (2) y (3) se aseguran las limitantes de capacidad de las plantas y de los centros de distribución, respectivamente. En Eq. (4) se garantiza que los DCs abiertos no excedan el máximo permitido. Esta restricción es muy importante cuando un gerente tiene un capital disponible limitado. Las restricciones en Eq. (5) asegura que todas las demandas de los clientes sean satisfechas por los DCs abiertos. Sin pérdida de generalidad, en la Eq. (6) suponemos que este modelo satisface la condición de balance. Un problema desbalanceado se puede cambiar a uno balanceado mediante la introducción de proveedores o clientes ficticios. Las restricciones en las Eqs. (7) y (8) imponen la restricción de no negatividad en las variables de decisión y la naturaleza binaria de las variables de decisión utilizadas en este modelo.

2. Modelo Logístico de Tres Etapas

El problema de diseño de redes de cadena de suministro se conoce como de tres etapas cuando son considerados proveedores, plantas, centros de distribución y clientes. Este problema ha ido ganando importancia debido a la creciente competitividad introducida por la globalización del mercado.

La tarea de diseño implica la decisión de escoger abrir una instalación (planta o DC) o no, y el diseño de la red de distribución para satisfacer la demanda del cliente a un costo mínimo. El modelo de red logística de tres etapas se formula de la siguiente manera:

Índices

I : denota el conjunto de proveedores, donde $(i = 1, 2, \dots, I)$.

J : denota el conjunto de plantas, donde $(j = 1, 2, \dots, J)$.

K : denota el conjunto de DCs, donde $(k = 1, 2, \dots, K)$.

L : denota el conjunto de clientes, donde $(l = 1, 2, \dots, L)$.

Parámetros

a_i : capacidad del proveedor i .

b_j : capacidad de la planta j .

c_k : capacidad del DC k .

d_l : demanda del cliente l .

s_{ij} : costo unitario por producir material del proveedor i en la planta j .

t_{jk} : costo unitario de transportar desde la planta j hasta el DC k .

u_{kl} : costo unitario de transportar desde el DC k hasta el cliente l .

f_j : costo fijo por abrir la planta j .

g_k : costo fijo por operar el DC k .

W : límite máximo de DCs que pueden ser abiertos.

P : límite máximo de plantas que pueden ser abiertas.

Variables

x_{ij} = cantidad producida en la planta j utilizando material del proveedor i .

y_{jk} = cantidad de envío desde la planta j hasta el DC k .

z_{kl} = cantidad de envío desde el DC k hasta el cliente l .

$$w_j = \begin{cases} 1 & \text{Si se produce en la planta } j. \\ 0 & \text{En otro caso.} \end{cases}$$

$$v_k = \begin{cases} 1 & \text{Si el centro de distribución } k \text{ es abierto.} \\ 0 & \text{En otro caso.} \end{cases}$$

Formulación Matemática

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } z = & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} s_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} t_{jk} y_{jk} + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} u_{kl} z_{kl} \\ & + \sum_{i \in I} f_j w_j + \sum_{k \in K} g_k v_k \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_{j \in J} x_{ij} \leq a_i \quad \forall i \in I \quad (10)$$

$$\sum_{k \in K} y_{jk} \leq b_j w_j \quad \forall j \in J \quad (11)$$

$$\sum_{j \in J} w_j \leq P \quad (12)$$

$$\sum_{l \in L} z_{kl} \leq c_k v_k \quad \forall k \in K \quad (13)$$

$$\sum_{k \in K} v_k \leq W \quad (14)$$

$$\sum_{k \in K} z_{kl} \geq d_l \quad \forall l \in L \quad (15)$$

$$v_k, w_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (16)$$

$$x_{ij}, y_{jk}, z_{kl} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (17)$$

En la función objetivo (9) se minimizan los costos de envío más los costos por apertura de los centros de distribución y de las plantas. Las restricciones en las Eqs. (10) y (11) se aseguran los límites de capacidad de las plantas y de los centros de distribución, respectivamente. En Eq. (12) se garantiza que el número de plantas abiertas no excedan el máximo permitido. Esta restricción es muy importante cuando un gerente tiene un capital disponible limitado. Las restricciones en Eq. (13) determina que sólo se enviará productos a los clientes a partir de centros de distribución que estén abiertos. En Eq. (14) se garantiza que el número de centros de distribución no excedan el máximo permitido. Las restricciones en Eq. (15) asegura que todas las demandas de los clientes sean satisfechas por los DCs abiertos. Las restricciones en las Eqs. (16) y (17) imponen la naturaleza binaria de las variables de decisión utilizadas y la restricción de no negatividad en las variables de decisión en este modelo.

Los problemas diseño de la cadena de suministro en redes logísticas han sido resueltos utilizando diversos métodos de programación lineal y heurísticas. A continuación, se presentan algunos artículos de referencia en donde se pueden encontrar diversas variaciones del problema, aplicaciones y metodologías de solución.

3. Áreas de Aplicación

- Agroindustria.
- Líneas aéreas.
- Logística humanitaria.
- Logística inversa
- Seguridad pública.
- Servicios de salud.
- Transporte.
- Tecnologías de información.

4. Artículos de referencia

Título	Digital Object Identifier (DOI)
A design of distribution network and development of efficient distribution policy	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2011.040062

Título	Digital Object Identifier (DOI)
A framework for an integrated distribution system optimisation model	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2008.017598
A fuzzy bi-objective mixed-integer programming method for solving supply chain network design problems under ambiguous and vague conditions	https://doi.org/10.1007/s00170-014-5891-7
A genetic algorithm approach for the multi-commodity, multi-period distribution planning in a supply chain network design	https://doi.org/10.1007/978-3-642-17563-3_58
A hybrid meta-heuristic algorithm for solving real-life transportation network design problems	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2013.055561
A Metaheuristic Approach for Supply Chain Network Design Problems	https://doi.org/10.1007/978-3-642-30433-0_12
A model for the management of WEEE reverse logistics	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2010.033888
A Multi-Objective Discrete Particle Swarm Optimisation Algorithm for supply chain network design	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2012.045919
A multi-objective programming approach for designing complicated logistics network	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2011.041864
A new model to mitigating random disruption risks of facility and transportation in supply chain network design	https://doi.org/10.1007/s00170-013-5404-0
A new multi-criteria scenario-based solution approach for stochastic supply chain network design	https://doi.org/10.1007/s10479-013-1435-z
A new robust optimization approach for integrated multi-echelon, multi-product, multi-period supply chain network design under process uncertainty	https://doi.org/10.1007/s00170-015-6796-9
A robust design for a closed-loop supply chain network under an uncertain environment	https://doi.org/10.1007/s00170-012-4369-8
A robust optimisation model for global distribution networks design	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2013.053768
A strategic decision support system for logistics and supply chain network design	https://doi.org/10.1007/s12046-016-0496-5

Título	Digital Object Identifier (DOI)
A supply chain network with product remanufacturing and carbon emission considerations: a two-phase design	https://doi.org/10.1007/s10845-017-1296-4
A Third-party Logistics Network Design Model under Fuzzy Random Environment	https://doi.org/10.1007/978-3-642-40078-0_8
Algorithms for a multi-level network optimization problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00306-3
An evolutionary algorithm for supply chain network design with assembly line balancing	https://doi.org/10.1007/s00521-016-2238-3
An integrated model for logistics network design	https://doi.org/10.1007/s10479-006-0001-3
Application of a clustering based location-routing model to a real agri-food supply chain redesign	https://doi.org/10.1007/978-3-642-34300-1_31
Application of fuzzy multi-objective programming approach to supply chain distribution network design problem	https://doi.org/10.1007/11925231_39
Application of Grey theory and multiobjective programming towards airline network design	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00320-3
Biofuel supply chain network design and operations	https://doi.org/10.1007/978-3-319-30094-8_9
Biomass to energy supply chain network design: An overview of models, solution approaches and applications	https://doi.org/10.1007/978-3-319-20092-7_1
Capacities-based supply chain network design considering demand uncertainty using two-stage stochastic programming	https://doi.org/10.1007/s00170-013-5054-2
Chosen aspects of logistics network design method for production service companies	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2013.053768
City Logistics Network Design and Optimization Under the Environment of Electronic Commerce	https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7010-6_144
Combinatorial Optimization in Transportation and Logistics Networks	https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7997-1_63
Constructive heuristics to the multi-period fixed charge transportation	https://doi.org/10.1504/IJBPSM.2010.036163

Título	Digital Object Identifier (DOI)
problem	
Cost optimisation of supply chain networks using Ant Colony Optimisation	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2011.041507
Cost optimisation of supply chain networks using particle swarm optimisation	https://doi.org/10.1504/IJBPSM.2010.036164
Decision models for sustainable supply chain design and management	https://doi.org/10.1007/s10479-017-2428-0
Design of global supply chain network with operational risks	https://doi.org/10.1007/s00170-011-3615-9
Design of reverse and forward supply chain network: a case study	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2008.017601
Design of synchronised supply chain: a genetic algorithm based six sigma constrained approach	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2006.009555
Designing a closed-loop supply chain with stochastic product returns: a Genetic Algorithm approach	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2011.041863
Designing an integrated logistics network in a supply chain system	https://doi.org/10.1007/s12205-013-0087-5
Designing an integrated multi-echelon supply chain network with competition	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2017.082616
Designing new supply chain networks: tomato and mango case studies	https://doi.org/10.1007/978-94-017-8578-5_14
Designing reverse logistics network for product recovery	https://doi.org/10.1504/IJBPSM.2009.033745
Development and optimisation of a new linear programming model for production/distribution network of an edible vegetable oils manufacturer	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2011.040057
Development of decision framework for warehouse decisions in supply chain network	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2008.016571
Distribution network design: A literature review and a research agenda	https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2014-0035
Elements of manufacturing, distribution and logistics	https://doi.org/10.1007/978-3-319-26862-0
European Aspects of the Distribution Network Design. Problems and Models	https://doi.org/10.1007/978-3-642-78910-6_74
Food supply chain security: Issues and implications	https://doi.org/10.1007/978-0-387-79934-6_18

Título	Digital Object Identifier (DOI)
Fresh Produce Dual-Channel Supply Chain Logistics Network Planning Optimization	https://doi.org/10.1007/978-981-10-1837-4_93
Fuzzy multi-objective optimization for closed loop logistics network design in bread-producing industries	https://doi.org/10.1007/s00170-013-5264-7
Glowworm swarm optimisation algorithm for nonlinear fixed charge transportation problem in a single stage supply chain network	https://doi.org/10.1504/IJLEG.2014.064285
Green supply chain design: A mathematical modeling approach based on a multi-objective optimization model	https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.028
Green supply chain network design with stochastic demand and carbon price	https://doi.org/10.1007/s10479-015-1936-z
Hierarchical parcel distribution facility ground network design problem	https://doi.org/10.1504/IJLEG.2010.036303
Iterative improvement methods for a multiperiod network design problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00217-8
Logistical Network Design With Robustness and Complexity Considerations	https://doi.org/10.1108/09600030710742425
Logistics and supply chain management: developments and trends	https://doi.org/10.1007/978-3-319-22288-2_1
Logistics Network Design: A Simulation Study of a Nursery Stock Channel	https://doi.org/10.1108/eb014408
Logistics network models	https://doi.org/10.1007/978-1-84800-181-7_3
Mapping structural relationships among the critical factors of rural supply chains	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2013.057505
Minimisation of the total operating cost by using supply chain optimisation model (COSCOM)	https://doi.org/10.1504/IJLEG.2012.047215
Modeling supply chain network design problem with joint service level constraint	https://doi.org/10.1007/978-3-642-25661-5_41
Modelling and analysis of network design for a closed-loop supply chain	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2013.052064
Models for reliable supply chain	https://doi.org/10.1007/978-3-540-68056-

Título	Digital Object Identifier (DOI)
network design	7_13
Multi objective outbound logistics network design for a manufacturing supply chain	https://doi.org/10.1007/s10845-012-0635-8
Multi-commodity Logistics Network Design Based on Heuristic Algorithm	https://doi.org/10.1007/978-3-642-27287-5_13
Multi-echelon closed-loop supply chain network design and configuration under supply risks and logistics risks	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2017.085882
Multi-objective Based Fuzzy Mathematical Programming Model for Green Logistics Network Design Under Uncertainty	https://doi.org/10.1007/978-3-662-43871-8_202
Multi-objective dual-sale channel supply chain network design based on NSGA-II	https://doi.org/10.1007/978-3-319-07455-9_50
Network design: Optimizing the global production footprint	https://doi.org/10.1007/978-3-540-71653-2_4
On assessing the sensitivity to uncertainty in distribution network design	https://doi.org/10.1108/09600030610642904
Optimal design of supply chain network under uncertainty environment using hybrid analytical and simulation modeling approach	https://doi.org/10.1007/s40092-017-0201-2
Optimisation of policy parameters in supply chain applications	https://doi.org/10.1080/13675560500092184
Optimisation of supply chain logistics network using random search techniques	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2007.011824
Optimization of green agri-food supply chain network using particle swarm optimization algorithm	https://doi.org/10.1007/978-3-319-01766-2_11
Optimization of the Supply Chain Management of Sugarcane in Cuba	https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2483-7_5
Optimum Network Design Models and Algorithms in Transportation and Communication	https://doi.org/10.1080/1367556031000063022
Particle Swarm Optimisation for fixed-charge transportation problem in a Multistage Supply Chain Network	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2011.041692
Petroleum supply chain network design	https://doi.org/10.1007/978-3-319-24154-8_8

Título	Digital Object Identifier (DOI)
and tactical planning with demand uncertainty	
Profit-based reconfiguration of express courier service network with multiple consolidation terminals	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2010.032947
Quantitative models for reverse logistics: A review	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00230-0
Re-engineering the inter-facility process of a parcel distribution company to improve the level of performance	https://doi.org/10.1080/13675567.2011.553495
Recent Issues in International Supply Chain Network Design—Economic Partnership Modeling	https://doi.org/10.1007/978-4-431-55420-2_8
Reliable forward-reverse logistics network design under partial and complete facility disruptions	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2015.068426
Remanufacturing logistics network design considering FTZ	https://doi.org/10.1007/978-3-662-43871-8_204
Reverse Logistics: Network Design Based on Life Cycle Assessment	https://doi.org/10.1007/978-3-642-41266-0_54
Robust optimization of supply chain network design in fuzzy decision system	https://doi.org/10.1007/s10845-014-0939-y
Service network design models for two-tier city logistics	https://doi.org/10.1007/s11590-013-0662-1
Supply chain management using multiagent systems in the agri-food industry	https://doi.org/10.1007/978-3-319-04735-5_10
Supply Chain Network Design	https://doi.org/10.1007/978-0-387-71909-2_8
Supply chain network design and transshipment hub location for third party logistics providers	https://doi.org/10.1007/11751595_97
Supply network design	https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2156-7_6
Survey research design in supply chain management: the need for evolution in our expectations	https://doi.org/10.1111/jscm.12161
Sustainable supply network management	https://doi.org/10.1016/S1066-7938(01)00122-1
Systematic framework for design of environmentally sustainable pharmaceutical supply chain network	https://doi.org/10.1007/s12247-016-9255-8

Título	Digital Object Identifier (DOI)
The design of a responsive sustainable supply chain network under uncertainty	https://doi.org/10.1007/s00170-015-6967-8
The design of production-distribution networks: A mathematical programming approach	https://doi.org/10.1007/0-387-26281-4_9
The network of logistics decisions	https://doi.org/10.1007/0-387-24977-X_1
The Reduction of CO2 Emission into the Supply Network Design: A Review of Current Trends in Mathematical Models	https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5349-8_16
Towards knowledge logistics in agile sme networks	https://doi.org/10.1007/0-387-23581-7_2
Using cross-docking operations in a reverse logistics network design: a new approach	https://doi.org/10.1007/s11740-015-0646-3

Modelos de Distribución

En una cadena de suministro, el flujo de mercancías entre un proveedor y el cliente pasa por varias etapas, y cada etapa puede constar de muchas instalaciones. En los últimos años, el problema de diseño de *redes de cadenas de suministro* (SCN, por sus siglas en inglés) ha ganado gran relevancia debido a la creciente competitividad introducida por la globalización del mercado. La administración de la cadena de suministro es una estrategia a través de la cual se puede lograr dicha integración.

El diseño de la red logística es uno de los problemas de decisión estratégica más completos que deben optimizarse para tener una operación eficiente a largo plazo de toda la cadena de suministro. El diseño determina el número, la ubicación, la capacidad y el tipo de plantas, almacenes y centros de distribución (DC) que se utilizarán. También establece canales de distribución y la cantidad de materiales y artículos para consumir, producir y enviar de proveedores a clientes. Los modelos de redes logísticas cubren una amplia gama de formulaciones que van desde el simple tipo de producto único hasta los complejos productos múltiples, y desde los modelos determinísticos lineales hasta los modelos complejos estocásticos no lineales. A continuación, se presenta una serie de modelos generales de logística utilizados en la distribución de mercancías.

1. Modelo de Logística Lineal

Los modelos de logística lineal (o problema de transporte: TP) contienen dos conjuntos principales de restricciones: un conjunto de restricciones asociadas con los nodos fuente denotados y un conjunto de restricciones asociadas con los nodos de destino. Existen variables en el problema, cada una correspondiente a un arco desde un nodo de origen a un nodo de destino (ver Figura 1).

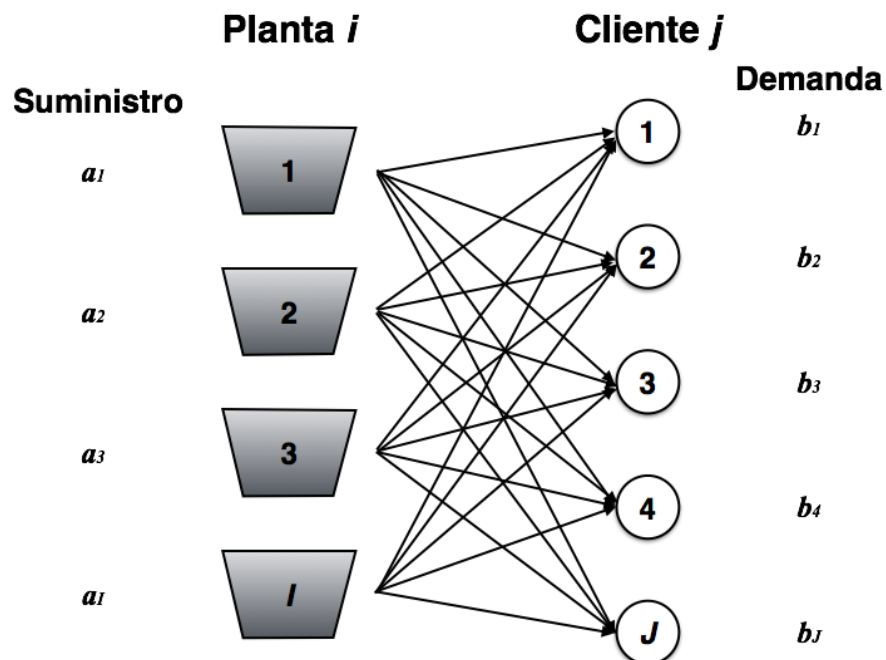


Figura 1. Modelo de Logística Lineal.

El objetivo del modelo de transporte es encontrar el patrón de envío al costo mínimo. La notación utilizada en este problema es la siguiente:

Índices

I : denota el conjunto de plantas, donde $(i = 1, 2, \dots, I)$.

J : denota el conjunto de clientes, donde $(j = 1, 2, \dots, J)$.

Parámetros

a_i : capacidad de la planta i .

b_j : demanda del cliente j .

c_{ij} : costo unitario de transportar desde la planta i hasta el cliente j .

Variables

x_{ij} = cantidad de envío desde la planta i hasta el cliente j .

Formulación Matemática

$$\text{Minimizar } z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_{j \in J} x_{ij} \leq a_i \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \geq b_j \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4)$$

En la función objetivo (1) se minimizan los costos de envío. Las restricciones en las Eqs. (2) se aseguran las limitantes de capacidad de las plantas. Las restricciones en Eqs. (3) aseguran que todas las demandas de los clientes sean satisfechas. Las restricciones en las Eqs. (4) imponen la restricción de no negatividad en las variables de decisión. Note que tal formulación es consistente solamente si:

$$\sum_{i \in I} a_i = \sum_{j \in J} b_j \quad (5)$$

Es decir, debe de existir un equilibrio entre lo que se produce y lo que se demanda. Aunque esto parece ser muy restrictivo, puede eludirse fácilmente mediante el empleo de lo que se conoce como fuentes ficticias o sumideros ficticios.

2. Modelo de Logística Generalizado

Es una extensión del modelo de logística básico con la consideración de que existen cambios en las cantidades de envío. Generalmente se formula de la siguiente forma:

Índices

I : denota el conjunto de plantas, donde $(i = 1, 2, \dots, I)$.

J : denota el conjunto de clientes, donde $(j = 1, 2, \dots, J)$.

Parámetros

a_i : capacidad de la planta i .

b_j : demanda del cliente j .

c_{ij} : costo unitario de transportar desde la planta i hasta el cliente j .

p_{ij} : cantidad de mercancía que se transportará desde la planta i hasta el cliente j .

Variables

x_{ij} = cantidad de envío desde la planta i hasta el cliente j .

Formulación Matemática

$$\text{Minimizar } z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_{j \in J} x_{ij} \leq a_i \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} p_{ij} x_{ij} \geq b_j \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (9)$$

El modelo logístico generalizado se utiliza ampliamente para tratar problemas en donde la cantidad de productos a enviar puede cambiar durante el transporte por diversos motivos. Por ejemplo la pérdida o la putrefacción de los alimentos.

3. Modelo de Logística Capacitado

Es una extensión del modelo de logística generalizado con limitaciones de capacidad de transporte en cada ruta. La notación matemática del modelo es la siguiente:

Índices

I : denota el conjunto de plantas, donde $(i = 1, 2, \dots, I)$.

J : denota el conjunto de clientes, donde $(j = 1, 2, \dots, J)$.

Parámetros

a_i : capacidad de la planta i .

b_j : demanda del cliente j .

c_{ij} : costo unitario de transportar desde la planta i hasta el cliente j .

p_{ij} : cantidad de mercancía que se transportará desde la planta i hasta el cliente j .

u_{ij} : cantidad máxima que se puede transportar desde la planta i hasta el cliente j .

Variables

x_{ij} = cantidad de envío desde la planta i hasta el cliente j .

Formulación Matemática

$$\text{Minimizar } z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (10)$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_{j \in J} x_{ij} \leq a_i \quad \forall i \in I \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I} p_{ij} x_{ij} \geq b_j \quad \forall j \in J \quad (12)$$

$$x_{ij} \leq u_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (13)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (14)$$

4. Áreas de Aplicación

- Planificación de la producción.
- Diseño de rutas.
- Logística humanitaria.

- Logística inversa.
- Seguridad pública.
- Servicios de salud.
- Transporte.
- Tecnologías de información.

5. Artículos de referencia

Título	Digital Object Identifier (DOI)
A bi-objective integrated procurement, production, and distribution problem of a multi-echelon supply chain network design: A new tuned MOEA	https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.08.010
A case analysis of a sustainable food supply chain distribution system—A multi-objective approach	https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.02.003
A cost optimisation strategy for a single warehouse multi-distributor vehicle routing system in stochastic scenario	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2011.042056
A design of distribution network and development of efficient distribution policy	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2011.040062
A four-echelon supply chain network design with shortage. Mathematical modelling and solution methods	https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.12.002
A framework for service-based supply chain	https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.025
A genetic algorithm to optimize the total cost and service level for just-in-time distribution in a supply chain	https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.11.028
A heuristic methodology for order distribution in a demand driven collaborative supply chain	https://doi.org/10.1080/0020754031000103293
A method for a robust optimization of joint product and supply chain design	https://doi.org/10.1007/s10845-014-0908-5
A multi-objective 3PL allocation problem for fish distribution	https://doi.org/10.1108/09600030610710863
A multi-objective location-allocation problem with lateral transshipment	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2015.072749

Título	Digital Object Identifier (DOI)
between distribution centres	
A multi-objective optimisation algorithm for new distribution centre location	https://doi.org/10.1504/IJBPSM.2015.073769
A Simulation Model for a Production Distribution System	https://doi.org/10.1108/EUM00000000000315
A simulation/metaheuristic approach to newspaper production and distribution supply chain problems	https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.03.001
A two-phased approach to the supply network reconfiguration problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00063-6
An integrated approach for production and distribution planning in supply chain management	https://doi.org/10.1080/00207540412331327718
Application of fuzzy mathematical programming approach to the production allocation and distribution supply chain network problem	https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.12.062
Bi-objective optimization of a multi-product multi-period three-echelon supply chain problem under uncertain environments: NSGA-II and NREGA	https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.08.068
Collaborative production–distribution planning in supply chain: a fuzzy goal programming approach	https://doi.org/10.1016/j.tre.2006.11.001
Cost allocation in the Chinese postman problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00310-5
Customer-facing supply chain practices -The impact of demand and distribution management on supply chain success	https://doi.org/10.1016/j.jom.2012.02.001
Design of an integrated supplier selection and multi-echelon distribution inventory model in a built-to-order supply chain environment	https://doi.org/10.1080/00207540500381427
Designing the distribution network in a supply chain	https://doi.org/10.1016/S1366-5545(02)00044-3
Distribution Strategies that Minimize Transportation and Inventory Costs	https://doi.org/10.1287/opre.33.3.469
Fuzzy multi-objective production/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in a supply chain	https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.02.008

Título	Digital Object Identifier (DOI)
Fuzzy-genetic approach to aggregate production–distribution planning in supply chain management	https://doi.org/10.1016/j.ins.2007.04.012
Genetic algorithms for a supply management problem: MIP-recombination vs greedy decoder	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.06.060
Genetic algorithms for supply chain scheduling: A case study in the distribution of ready-mixed concrete	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.12.019
Genetic Optimisation of a Fuzzy Distribution Model	https://doi.org/10.1108/09600030010346440
Heterogeneous truck routing policies with tour routing time restriction: a case study of a Malaysian trucking company	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2014.061020
Heuristic to solve bi-objective allocation problem in distribution logistics	https://doi.org/10.1504/IJLEG.2009.026413
Improvement of Inter-facility Shipments Efficiency by Means of a Heuristic Bin Packing Algorithm	https://doi.org/10.1080/13675560210148650
Integrated production-inventory-distribution optimisation in a multi-echelon, multi-product, multi-carrier, multi-period system	https://doi.org/10.1504/IJVC.2010.033616
Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)90299-5
Integrating multimodal transport into forest-delivered biofuel supply chain design	https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.047
Integration of closed loop distribution supply chain network and 3PRLP selection for the case of battery recycling	https://doi.org/10.1080/00207541003794876
Material flow optimisation in a multi-echelon and multi-product supply chain	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2017.080633
Mathematical model and genetic algorithm for distribution logistics problem with maximum route length	https://doi.org/10.1504/IJLEG.2008.023164
Matheuristics based on iterative linear	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.01.022

Título	Digital Object Identifier (DOI)
programming and slope scaling for multicommodity capacitated fixed charge network design	
Modelling supply chain decision problem with fixed charge – a review	https://doi.org/10.1504/IJBPSM.2011.042007
Models and methods for the City Logistics. The two-echelon capacitated vehicle routing problem	https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00844731
On a class of three-dimensional transshipment problems	https://doi.org/10.1504/IJSTL.2015.069668
Optimal production allocation and distribution supply chain networks	https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.02.035
Optimal stationary policies in a 3-stage serial production-distribution logistic chain facing constant and continuous demand	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.02.021
Optimizing a bi-objective multi-product multi-period three-echelon supply chain network with warehouse reliability	https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.018
Ordering and pricing policies in a manufacturing and distribution supply chain for fashion products	https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.06.010
Production and distribution lot sizing in a two stage supply chain	https://doi.org/10.1080/07408170304401
Production-distribution planning in supply chain using a hybrid approach	https://doi.org/10.1080/09537280110061566
Production–distribution planning in supply chain considering capacity constraints	https://doi.org/10.1016/S0360-8352(02)00063-3
Reorganization of distribution in globalization of markets: the dynamic context of supply chain management	https://doi.org/10.1108/13598540310500259
Scheduling of truck arrivals, truck departures and shop-floor operation in a cross-dock platform, based on trucks loading plans	https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.09.008
Service supply chain management. A review of operational models	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.053
Simulation model of multicompart-ment distribution in the catering supply	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00204-6

Título	Digital Object Identifier (DOI)
chain	
Solution of real-world postman problems	https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.06.002
Solving the medium newspaper production/distribution problem	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00300-2
Solving time minimising transshipment problem	https://doi.org/10.1504/IJSTL.2015.067848
Strategic production-distribution models: A critical review with emphasis on global supply chain models	https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)80080-X
Study of Multi-Commodity Network Flow problem for the Patient Distribution System	https://doi.org/10.1504/IJLSM.2012.047059
Supply chain network design: partner selection and production/distribution planning using a systematic model	https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601949
Supply chain operations: Serial and distribution inventory systems	https://doi.org/10.1016/S0927-0507(03)11010-9
Supply chain scheduling: distribution systems	https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2006.tb00243.x
Sustainable supply chain models for base of the pyramid	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.001
The application of linear programming to a distribution system orientated toward service	https://doi.org/10.1108/eb014279
The balanced allocation of customers to multiple distribution centers in the supply chain network: a genetic algorithm approach	https://doi.org/10.1016/S0360-8352(02)00067-0
The changing landscape of supply chain management, marketing channels of distribution, logistics and purchasing	https://doi.org/10.1108/08858620610708911
The Effect of Ecological Factors on Distribution Network Evaluation	https://doi.org/10.1080/13675560124141
The power of coordinated decisions for short-life-cycle products in a manufacturing and distribution supply chain	https://doi.org/10.1023/A:1007619423631
Transports integration tools for supply chain management	https://doi.org/10.1080/13675560500534599

Título	Digital Object Identifier (DOI)
Using predetermined partial solutions for solving a heterogeneous truck fleet distribution model	https://doi.org/10.1504/IJPS.2014.066688
Using Simulated Annealing to Solve the p-Hub Median Problem	https://doi.org/10.1108/09600030110389532
Variables in the Design of Distribution Systems: In the Confectionery, Pharmaceutical, and Shirt Industries	https://doi.org/10.1108/eb014321