Curso: Teoría, Algoritmos y Aplicaciones de Gestión Logística.

Modelos de Planificación de Cadena de Suministros- Problema del expedidor

Departamento de Investigación Operativa
Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería
Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

dictado semestre 2 - 2022

Contenido: (cap. 14 libro referencia)

1. Introducción

2. Problema del cargador o expedidor (shipper's problem)

Introducción

- Recientemente muchas empresas han reconocido la oportunidad de lograr reducciones importantes de costos y mejoras en los niveles de servicio a los clientes, mediante la integración de sus políticas de producción, inventarios y transportes a través de su cadena de suministro.

- En esta presentación, el foco está en modelos de planificación de la cadena de suministro en empresas que contratan transportistas externos (lo que es cada vez más frecuente a nivel internacional, dada la existencia de diversos modos de transporte competitivos lo que permite tercerizar este servicio y disminuir costos internos de la empresa). Impacto estratégico, ya que determinan luego el flujo eficiente

- Un modo de transporte frecuente usado en algunas industrias es la modalidad "less-than-truckload" (LTL), atractiva cuando las cargas de envío son considerablemente menores que la capacidad de un camión.

En estos casos, los transportistas suelen ofrecer descuentos por volumen o cantidad, para fomentar mayores demandas; estos costos pueden modelarse como funciones lineales a trozos cóncavas.

- De manera similar, los costos de producción pueden ser muchas veces aproximados por funciones funciones lineales a trozos cóncavas de la cantidad total producida (en particular cuando hay costos de setup más costos lineales de producción, eventualmente con cambios en la derivada a partir de ciertas cantidades).

- Estas economías de escala motivan al expedidor (o remitente - shipper) a coordinar la producción, ruteo y momento de los envíos sobre la red de transporte para minimizar los costos totales en el sistema. Este problema será referido como "the shipper problem".

- El modelo que se desarrollará, que es bastante genérico, igualmente incluye varias hipótesis, que son consistentes con las redes logísticas modernas. En particular, se asume que todas las instalaciones son parte de la misma red logística, y que la información general está accesible a un tomador central de decisiones cuyo objetivo es minimizar los costos del sistema completo. El modelo también es aplicable en situaciones en las que productores y vendedores han establecido acuerdos de cooperación estratégica (por ejemplo, transmitiendo datos de las ventas en los minoristas al proveedor, para que este pueda coordinar la producción y la distribución, incluyendo también los inventarios intermedios).

- Estos modelos se utilizan muchas veces en un esquema de horizonte rodante.

- El modelo se asume con demanda determinística (se puede determinar inventarios de seguridad adicionales, para minimizar las probabilidades de ruptura de stock).

El problema del expedidor

- El objetivo del problema es encontrar un plan de producción, una política de inventarios, y una estrategia de transporte que minimice el costo total y satisfaga todas las demandas.

- Se supone que los costos de producción y transporte son lineales a trozos, cóncavos.

- Es posible postergar la satisfacción de la demanda (backlogging), con una penalidad conocida, función de la duración de la demora y el nivel de demanda insatisfecha.

- Hay que balancear cuatro costos: costos de producción; costos de transporte; costos de inventario, y costos de postergación de la demanda.

- Problema táctico, que incorpora la dimensión temporal. Estrategia de modelado: transformar la red logística en una red extendida, que incorpora el tiempo.

Entidades del modelo

- Fábricas F; almacenes W; clientes o puntos de venta minorista M.
- Red logística - grafo $G(N, A)$, con $N = F \cup W \cup M$, y $A \subset N \times N$ arcos de transporte entre los nodos de la red.
- T períodos de tiempo (p.ej. días) en el horizonte de planificación.
- Demandas de productos a ser fabricados en puntos de F, transportados y almacenados en puntos de W, y transportados nuevamente para su entrega en puntos de M. Se supone una lista conocida de K demandas, donde cada demanda k corresponde a una cantidad b_k de producto, y tiene un origen, destino, y tiempo de entrega conocidos.
- Parámetros: costos de fabricación; costos de inventario lineales en la cantidad almacenada y la duración; costos de transporte en cada arco de ruteo.

Modelado como red extendida

- Cada nodo i de N se transforma en un conjunto de nodos i_t, $t = 1, \ldots, T$. Se agregan arcos (i_u, j_v) si es posible transportar mercadería de i a j, y el tiempo de transporte es igual a $v - u$ (o de manera más general, $\tau_v - \tau_u$).

- En particular, se conectan arcos de un nodo w_u a w_{u+1} si es posible almacenar inventario en el nodo w.

- Se agrega, para cada demanda, un nodo origen y un nodo destino ficticios; el nodo origen se conecta con los nodos correspondientes a la fábrica en distintos momentos de tiempo, y el nodo destino con el cliente final, en los distintos momentos de tiempo (con los costos asociados a la entrega en ese período).

- Para tener en cuenta costos de producción no lineales, se agrega a cada nodo i_t que corresponde a una fábrica un nodo i'_t auxiliar, el arco que los une corresponde al costo de fabricación.

- Estos nodos y arcos corresponden a la red extendida. Para cada demanda k, es posible generar en la red los caminos mediante los cuales la demanda puede ser atendida, los notaremos P_k.

- Notaremos c_{pk} la suma de costos de inventario y penalidad por entrega retrasada cuando el pedido k es atendido con el camino $p \in P_k$.

- Parámetros $\delta_p^e = 1$ si arco e pertenece al camino p, 0 si no (estructura de la red y sus caminos).

- Para cada arco de transporte (y producción) $e \in SE$, sea z_e la v. de decisión, igual a la suma del peso de todos los pedidos transportados en ese arco. Existe entonces un costo $F_e(z_e)$, que suponemos es lineal a trozos, cóncavo, como función de z_e.

- Otras variables de decisión: $y_{pk} = 1$ si el pedido k usa el camino p para ser entregado, 0 si no.

Formulación general (no lineal)

$$\min \quad \sum_{k=1}^{K} \sum_{p \in P_k} y_{pk} c_{pk} + \sum_{e \in SE} F_e(z_e) \tag{1}$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{p \in P_k} y_{pk} = 1, \forall k = 1, \ldots, K, \tag{2}$$

$$\sum_{k=1}^{K} \sum_{p \in P_k} \delta_p^e y_{pk} b_k = z_e, \forall e \in SE, \tag{3}$$

$$y_{pk} \in \{0, 1\}, z_e \geq 0, \quad \forall p \in P_k, \forall e \in E, \forall k = 1, \ldots, K. \tag{4}$$

Estrategia para linealización

- Función $F_e(z_e)$ es lineal a trozos, cóncava, no decreciente en el peso (o volumen) de productos z_e transportados en e.

- Sea R el número total de trozos de la función; cada uno tiene una pendiente α_e^r.

- Cada trozo está definido en un intervalo $(M_e^{r-1}, M_e^r]$ con $M_e^0 = 0$, y M_e^R infinito o el peso total de productos a transportar.

- Para cada intervalo, se puede definir un "costo fijo virtual" f_e^r, de forma que el costo para un $z_e \in (M_e^{r-1}, M_e^r]$ es el costo lineal $F_e(z_e) = f_e^r + \alpha_e^r z_e$.

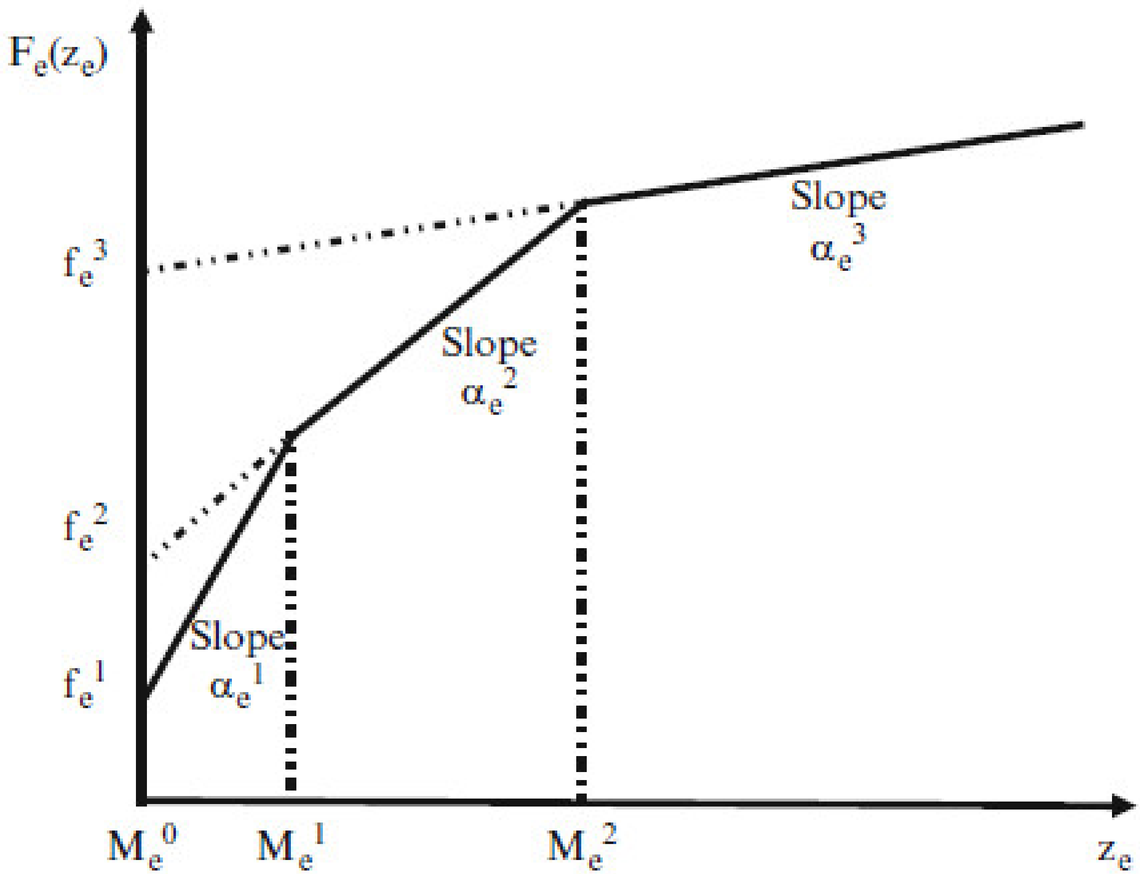

FIGURE 14.2. Piecewise linear and concave cost structure (figura extraída del libro de referencia)

- Por ser F_e cóncava y monótona, $\alpha_e^1 > \alpha_e^2 > \ldots > \alpha_e^R \geq 0$, y $0 \leq f_e^1 < \ldots < f_e^R$. Asimismo, $F_e(z_e) = \min_{1,\ldots,R}\{f_e^r + \alpha_e^r z_e\}$.

- Se definen las siguientes v.decisión auxiliares: z_{ek} cantidad de producto k transportado en el arco e; $x_e^r = 1$, si $z_e \in (M_e^{r-1}, M_e^r]$, 0 si no; $z_{ek}^r = z_{ek}$, si $z_e \in (M_e^{r-1}, M_e^r]$, 0 si no. Con estas variables, se puede linealizar el costo de transporte, $\sum_{e\in SE} F_e(z_e) = \sum_{e\in SE}\sum_{r=1}^{R}\left[f_e^r x_e^r + \alpha_e^r(\sum_{k=1}^{K} z_{ek}^r)\right]$.

- Es necesario agregar algunas restricciones adicionales a la formulación, para vincular las distintas variables:

$$\sum_{p\in P_k} \delta_p^e y_{pk} b_k = \sum_{r=1}^{R} z_{ek}^r$$

$$z_{ek}^r \leq b_k x_e^r$$

$$\sum_{k=1}^{K} z_{ek}^{r} \leq M_e^r x_e^r$$

$$\sum_{k=1}^{K} z_{ek}^{r} \geq M_e^{r-1} x_e^r$$

$$\sum_{r=1}^{R} x_e^r \leq 1$$

$$x_e^r \in \{0,1\}$$

Propiedades adicionales

- Sea Z^{LP} el óptimo del problema resultado de relajar las restricciones de integralidad para las variables binarias. En los casos siguientes, $Z^* = Z^{LP}$

  - Período único, múltiples proveedores, múltiples clientes, dos almacenes.
  - Dos períodos, único proveedor, múltiples clientes, almacen único.
  - Dos períodos, múltiples proveedores, múltiples clientes, almacen único utilizando cross-docking.
  - Múltiples períodos, único proveedor, único cliente, almacen único utilizando cross-docking.

- En casos más generales, es posible utilizar una heurística iterativa basada en una estrategia de relajación con ajuste de los costos de las aristas basados en costos marginales.