

# Minimización de costos en Cadenas de Suministro usando Programación Concurrente Por Restricciones

Jairo Ernesto Maldonado Gómez

Ponente: *María Andrea Cruz Blandón*

AVISPA, Universidad del Valle

4 de Octubre del 2011

# Contenido

- 1 Motivación
  - Cadenas de abastecimiento
    - Contexto
    - Factores que inciden en el diseño de la CS
    - Inventarios
- 2 Estrategias previas
  - Limitaciones
- 3 Alcance de la solución
  - La problemática
  - La solución
  - Caracterización
- 4 Formulación del modelo matemático
  - Conjuntos e índices
  - Parámetros
  - Variables
  - Restricciones
- 5 Práctica investigativa

# Cadenas de abastecimiento

## Contexto

- Satisfacción del requerimiento de un cliente.
- Cumplir con estándares óptimos de calidad.
- Ofrecer el producto a precios razonables.
- Emplear tiempos de servicio óptimos.
- Ejecutar todas las etapas de la cadena al menor costo posible.
- Etapas clásicas de cadenas de suministro:
  - Proveedores.
  - Logística de entrega.
  - Manufactura.
  - Transporte.
  - Almacenamiento.
  - Entrega.
  - Minoristas.
  - Consumidor.

# Cadenas de abastecimiento

## Factores que inciden en el diseño de la cadena de suministro

- Estratégicos, tecnológicos, macroeconómicos, políticos, de infraestructura y competitivos.
- **Tiempos de respuesta al cliente.**
- **Costos logísticos**

### ¿Excesos, Faltantes? !!

#### Cuestiones para tomar decisiones en sistemas de inventarios:

- 1 ¿Con qué frecuencia debe revisarse el inventario del ítem?
- 2 ¿Cuánto debe ordenarse del ítem?
- 3 ¿Qué cantidad debe ordenarse en cada pedido?

#### Clasificación de los inventarios:

- Inventario cíclico.
- Inventario de seguridad.

¿Excesos, Faltantes? !!

### **Cuestiones para tomar decisiones en sistemas de inventarios:**

- 1 ¿Con qué frecuencia debe revisarse el inventario del ítem?
- 2 ¿Cuánto debe ordenarse del ítem?
- 3 ¿Qué cantidad debe ordenarse en cada pedido?

### **Clasificación de los inventarios:**

- Inventario cíclico.
- Inventario de seguridad.

¿Excesos, Faltantes? !!

### **Cuestiones para tomar decisiones en sistemas de inventarios:**

- 1 ¿Con qué frecuencia debe revisarse el inventario del ítem?
- 2 ¿Cuánto debe ordenarse del ítem?
- 3 ¿Qué cantidad debe ordenarse en cada pedido?

### **Clasificación de los inventarios:**

- Inventario cíclico.
- Inventario de seguridad.

# Estrategias previas I

El problema de las cadenas de suministro se clasifica dentro de los problemas conocidos como de optimización combinatoria y restringida. Es por ello que se han realizado aproximaciones con programación matemática con diferentes técnicas entre ellas:

- **MIP** Programación Entera Mixta, Cuando los problemas de optimización son representados en forma algebraica ellos corresponden a problemas de optimización entera mixta.

## Modelo MIP

$$\begin{aligned} \min Z &= f(x, y) \\ \text{s.th}(x, y) &= 0 \\ g(x, y) &\leq 0 \\ x \in X & \quad y \in 0, 1^m \end{aligned}$$



- **NLP** Programación No Lineal, cuando un problema MIP no tiene variables binarias, y sus ecuaciones son no lineales, el problema se reduce a NLP.
- **LP** Programación Lineal, cuando un problema MIP no tiene variables binarias, y sus ecuaciones son lineales, el problema se reduce a LP.

# Contenido

- 1 Motivación
  - Cadenas de abastecimiento
    - Contexto
    - Factores que inciden en el diseño de la CS
    - Inventarios
- 2 Estrategias previas
  - Limitaciones
- 3 Alcance de la solución
  - La problemática
  - La solución
  - Caracterización
- 4 Formulación del modelo matemático
  - Conjuntos e índices
  - Parámetros
  - Variables
  - Restricciones
- 5 Práctica investigativa

- Para la formulación de problemas en MIPs y LPs, los modelos deben expresarse matemáticamente lineales, pues los solvers así lo requieren. Esto es difícil pues la mayoría de los problemas complejos no son lineales.
- En lo modelos NLP se puede converger hacia soluciones no óptimas, lo cual no es lo ideal en este tipo de problemas.

- Para la formulación de problemas en MIPs y LPs, los modelos deben expresarse matemáticamente lineales, pues los solvers así lo requieren. Esto es difícil pues la mayoría de los problemas complejos no son lineales.
- En los modelos NLP se puede converger hacia soluciones no óptimas, lo cual no es lo ideal en este tipo de problemas.

# Contenido

- 1 Motivación
  - Cadenas de abastecimiento
    - Contexto
    - Factores que inciden en el diseño de la CS
    - Inventarios
- 2 Estrategias previas
  - Limitaciones
- 3 Alcance de la solución
  - **La problemática**
  - La solución
  - Caracterización
- 4 Formulación del modelo matemático
  - Conjuntos e índices
  - Parámetros
  - Variables
  - Restricciones
- 5 Práctica investigativa

# Alcance de la solución

## La problemática

Algunas cuestiones interesantes:

- ¿Qué se produce?
- ¿En dónde se produce?
- ¿Cuánto se produce?
- ¿Cómo debe realizarse la distribución?
- ¿Qué inventarios tener?
- ¿Qué flota de transporte utilizar?

# Contenido

- 1 Motivación
  - Cadenas de abastecimiento
    - Contexto
    - Factores que inciden en el diseño de la CS
    - Inventarios
- 2 Estrategias previas
  - Limitaciones
- 3 Alcance de la solución
  - La problemática
  - **La solución**
  - Caracterización
- 4 Formulación del modelo matemático
  - Conjuntos e índices
  - Parámetros
  - Variables
  - Restricciones
- 5 Práctica investigativa

# Alcance de la solución

## La solución

Lo que determina la solución:

- Minimizar los costos de transporte, producción e inventarios cíclicos.
- Determinar los flujos de productos que serán enviados entre plantas, centros de distribución y bodegas para varios períodos de tiempo.
- Determinar el tipo y la cantidad de vehículos a utilizar que transportan los flujos de productos
- Determinar los niveles óptimos de inventario cíclico para varios períodos de tiempo.



# Alcance de la solución

## La solución

Lo que determina la solución:

- Minimizar los costos de transporte, producción e inventarios cíclicos.
- Determinar los flujos de productos que serán enviados entre plantas, centros de distribución y bodegas para varios períodos de tiempo.
- Determinar el tipo y la cantidad de vehículos a utilizar que transportan los flujos de productos
- Determinar los niveles óptimos de inventario cíclico para varios períodos de tiempo.

# Alcance de la solución

## La solución

Lo que determina la solución:

- Minimizar los costos de transporte, producción e inventarios cíclicos.
- Determinar los flujos de productos que serán enviados entre plantas, centros de distribución y bodegas para varios períodos de tiempo.
- Determinar el tipo y la cantidad de vehículos a utilizar que transportan los flujos de productos
- Determinar los niveles óptimos de inventario cíclico para varios períodos de tiempo.

# Alcance de la solución

## La solución

Lo que determina la solución:

- Minimizar los costos de transporte, producción e inventarios cíclicos.
- Determinar los flujos de productos que serán enviados entre plantas, centros de distribución y bodegas para varios períodos de tiempo.
- Determinar el tipo y la cantidad de vehículos a utilizar que transportan los flujos de productos
- Determinar los niveles óptimos de inventario cíclico para varios períodos de tiempo.

# Alcance de la solución

## La solución

Lo que queda fuera del alcance:

- **Determinar número y localización de plantas, centros de distribución o bodegas.**
- Determinar las rutas de transporte óptimas de los vehículos entre los diferentes eslabones de la Cadena de Suministro.
- Reducir los tiempos de transporte de productos terminados entre plantas, centros de distribución y bodegas.
- Determinar el orden o secuenciamiento en el que serán despachadas las mercancías hacia los centros de distribución y bodegas.

# Alcance de la solución

## La solución

Lo que queda fuera del alcance:

- Determinar número y localización de plantas, centros de distribución o bodegas.
- **Determinar las rutas de transporte óptimas de los vehículos entre los diferentes eslabones de la Cadena de Suministro.**
- Reducir los tiempos de transporte de productos terminados entre plantas, centros de distribución y bodegas.
- Determinar el orden o secuenciamiento en el que serán despachadas las mercancías hacia los centros de distribución y bodegas.

# Alcance de la solución

## La solución

Lo que queda fuera del alcance:

- Determinar número y localización de plantas, centros de distribución o bodegas.
- Determinar las rutas de transporte óptimas de los vehículos entre los diferentes eslabones de la Cadena de Suministro.
- **Reducir los tiempos de transporte de productos terminados entre plantas, centros de distribución y bodegas.**
- Determinar el orden o secuenciamiento en el que serán despachadas las mercancías hacia los centros de distribución y bodegas.

# Alcance de la solución

## La solución

Lo que queda fuera del alcance:

- Determinar número y localización de plantas, centros de distribución o bodegas.
- Determinar las rutas de transporte óptimas de los vehículos entre los diferentes eslabones de la Cadena de Suministro.
- Reducir los tiempos de transporte de productos terminados entre plantas, centros de distribución y bodegas.
- **Determinar el orden o secuenciamiento en el que serán despachadas las mercancías hacia los centros de distribución y bodegas.**

# Contenido

## 1 Motivación

- Cadenas de abastecimiento
  - Contexto
  - Factores que inciden en el diseño de la CS
  - Inventarios

## 2 Estrategias previas

- Limitaciones

## 3 Alcance de la solución

- La problemática
- La solución
- **Caracterización**

## 4 Formulación del modelo matemático

- Conjuntos e índices
- Parámetros
- Variables
- Restricciones

## 5 Práctica investigativa



# Alcance de la solución

## Caracterización

- Se considera una cadena con plantas de manufactura **PL**, centros de distribución **CD**, bodegas menores **BM** y clientes.
- El costo de transportar productos de un CD a una BM esta dado por el valor del viaje, no por el peso; mientras que de una PL a un CD el costo esta dado por el peso transportado.
- Los productos son empacados en cajas uniformes.
- No se consideran faltantes de inventario o demandas no servidas.
- Se asume que los costos de transporte e inventario no varían en el tiempo.

# Alcance de la solución

## Caracterización

- Se considera una cadena con plantas de manufactura **PL**, centros de distribución **CD**, bodegas menores **BM** y clientes.
- El costo de transportar productos de un CD a una BM esta dado por el valor del viaje, no por el peso; mientras que de una PL a un CD el costo esta dado por el peso transportado.
- Los productos son empacados en cajas uniformes.
- No se consideran faltantes de inventario o demandas no servidas.
- Se asume que los costos de transporte e inventario no varían en el tiempo.

# Alcance de la solución

## Caracterización

- Se considera una cadena con plantas de manufactura **PL**, centros de distribución **CD**, bodegas menores **BM** y clientes.
- El costo de transportar productos de un CD a una BM esta dado por el valor del viaje, no por el peso; mientras que de una PL a un CD el costo esta dado por el peso transportado.
- Los productos son empacados en cajas uniformes.
- No se consideran faltantes de inventario o demandas no servidas.
- Se asume que los costos de transporte e inventario no varían en el tiempo.

# Alcance de la solución

## Caracterización

- Se considera una cadena con plantas de manufactura **PL**, centros de distribución **CD**, bodegas menores **BM** y clientes.
- El costo de transportar productos de un CD a una BM esta dado por el valor del viaje, no por el peso; mientras que de una PL a un CD el costo esta dado por el peso transportado.
- Los productos son empacados en cajas uniformes.
- No se consideran faltantes de inventario o demandas no servidas.
- Se asume que los costos de transporte e inventario no varían en el tiempo.

# Alcance de la solución

## Caracterización

- Se considera una cadena con plantas de manufactura **PL**, centros de distribución **CD**, bodegas menores **BM** y clientes.
- El costo de transportar productos de un CD a una BM esta dado por el valor del viaje, no por el peso; mientras que de una PL a un CD el costo esta dado por el peso transportado.
- Los productos son empacados en cajas uniformes.
- No se consideran faltantes de inventario o demandas no servidas.
- Se asume que los costos de transporte e inventario no varían en el tiempo.

# Contenido

- 1 Motivación
  - Cadenas de abastecimiento
    - Contexto
    - Factores que inciden en el diseño de la CS
    - Inventarios
- 2 Estrategias previas
  - Limitaciones
- 3 Alcance de la solución
  - La problemática
  - La solución
  - Caracterización
- 4 **Formulación del modelo matemático**
  - **Conjuntos e índices**
  - Parámetros
  - Variables
  - Restricciones
- 5 Práctica investigativa

# Formulación del modelo matemático

## Conjuntos e índices

- **NPL** := Conjunto de plantas de manufactura, indexadas por  $j$ .
- **NCD** := Conjunto de centros de distribución, indexados por  $k$ .
- **NBM** := Conjunto de bodegas menores, indexadas por  $i$ .
- **NPT** := Conjunto de productos terminados, indexados por  $p$ .
- **NT** := Conjunto de periodos de tiempo, indexados por  $t$ .
- **NTV** := Conjunto de tipos de vehículos, indexados por  $m$ .

# Contenido

- 1 Motivación
  - Cadenas de abastecimiento
    - Contexto
    - Factores que inciden en el diseño de la CS
    - Inventarios
- 2 Estrategias previas
  - Limitaciones
- 3 Alcance de la solución
  - La problemática
  - La solución
  - Caracterización
- 4 **Formulación del modelo matemático**
  - Conjuntos e índices
  - **Parámetros**
  - Variables
  - Restricciones
- 5 Práctica investigativa



# Formulación del modelo matemático I

## Parámetros

- **FAC** Factor de inventarios de seguridad [Número real].
- **FPESO<sub>p</sub>** Factor de peso del producto "p" [Kg/caja].
- **CAP<sub>m</sub>** Capacidad del vehículo tipo "m" [cajas].
- **CANTVEHI<sub>m</sub>** Cantidad de vehículos tipo "m" [Vehículos].
- **CAPCD<sub>k</sub>** Capacidad del centro de distribución "k" [cajas].
- **CAPBM<sub>i</sub>** Capacidad de la bodega menor "i" [cajas].
- **COSTCD<sub>k</sub>** Costo de almacenamiento del centro de distribución "k" [\$/caja].
- **COSTBM<sub>i</sub>** Costo de almacenamiento de la bodega menor "i" [\$/caja].
- **CAP<sub>jp</sub>** Capacidad máxima de producción del producto "p" en la planta "j" [cajas].
- **INVINICD<sub>kp</sub>** Inventario inicial del producto "p" en el CD "k" [cajas].
- **INVINIB<sub>ip</sub>** Inventario inicial del producto "p" en la BM "i" [cajas].
- **COSTOPT<sub>jp</sub>** Costo unitario de producto terminado "p" en la planta "j" [\$/caja].
- **COSTk<sub>im</sub>** Costo del flete en la ruta del CD "k" a la BM "i" con el tipo de vehículo tipo "m" [\$/vehículo-ruta].
- **COST<sub>jk</sub>** Costo del flete en la ruta de la planta "j" al CD "k" [\$/Kg].
- **DEM<sub>ipt</sub>** Demanda del producto "p" en la bodega "i" en el periodo "t" [cajas/periodo].
- **DESDEM<sub>ipt</sub>** Desviación Estandar de la demanda del producto "p" en la bodega "i", en el periodo "t" [cajas/periodo].
- **ISB<sub>ipt</sub>** Inventario de seguridad del producto "p" en la BM "i" en el periodo "t" [cajas].

# Contenido

- 1 Motivación
  - Cadenas de abastecimiento
    - Contexto
    - Factores que inciden en el diseño de la CS
    - Inventarios
- 2 Estrategias previas
  - Limitaciones
- 3 Alcance de la solución
  - La problemática
  - La solución
  - Caracterización
- 4 **Formulación del modelo matemático**
  - Conjuntos e índices
  - Parámetros
  - **Variables**
  - Restricciones
- 5 Práctica investigativa

# Formulación del modelo matemático

## Variables

- $x_{jkpt}$  Cantidad de cajas por fabricar del producto "p" a enviar desde la planta "j" hasta el CD "k" en el periodo "t" [cajas].
- $y_{kipt}$  Cantidad de cajas del producto "p" para enviar desde el CD "k" hasta la BM "i" en el periodo "t" [cajas].
- $hcd_{kpt}$  Nivel de inventario cíclico del producto "p" en el CD "k" al final del periodo "t" [cajas].
- $hb_{ipt}$  Nivel de inventario cíclico del producto "p" en la BM "i" al final del periodo "t" [cajas].
- $nveh_{kitm}$  Número de vehículos de tipo "m" a contratar para la ruta de "k" hasta "i" en el periodo "t" [Vehículos].
- $g_{kimt}$  Binaria de asignación del vehículo tipo "m" a la ruta "k" a "i" en el periodo "t", 1 si se asigna, 0 si no [Entera-binaria].

# Formulación del modelo matemático

## Variables

- $X_{jkpt}$  Cantidad de cajas por fabricar del producto "p" a enviar desde la planta "j" hasta el CD "k" en el periodo "t" [cajas].
- $Y_{kipt}$  Cantidad de cajas del producto "p" para enviar desde el CD "k" hasta la BM "i" en el periodo "t" [cajas].
- $hcd_{kpt}$  Nivel de inventario cíclico del producto "p" en el CD "k" al final del periodo "t" [cajas].
- $hb_{ipt}$  Nivel de inventario cíclico del producto "p" en la BM "i" al final del periodo "t" [cajas].
- $nveh_{kitm}$  Número de vehículos de tipo "m" a contratar para la ruta de "k" hasta "i" en el periodo "t" [Vehículos].
- $g_{kimt}$  Binaria de asignación del vehículo tipo "m" a la ruta "k" a "i" en el periodo "t", 1 si se asigna, 0 si no [Entera-binaria].

# Formulación del modelo matemático

## Variables

- $x_{jkpt}$  Cantidad de cajas por fabricar del producto "p" a enviar desde la planta "j" hasta el CD "k" en el periodo "t" [cajas].
- $y_{kipt}$  Cantidad de cajas del producto "p" para enviar desde el CD "k" hasta la BM "i" en el periodo "t" [cajas].
- $hcd_{kpt}$  Nivel de inventario cíclico del producto "p" en el CD "k" al final del periodo "t" [cajas].
- $hb_{ipt}$  Nivel de inventario cíclico del producto "p" en la BM "i" al final del periodo "t" [cajas].
- $nveh_{kitm}$  Número de vehículos de tipo "m" a contratar para la ruta de "k" hasta "i" en el periodo "t" [Vehículos].
- $g_{kimt}$  Binaria de asignación del vehículo tipo "m" a la ruta "k" a "i" en el periodo "t", 1 si se asigna, 0 si no [Entera-binaria].

# Formulación del modelo matemático

## Variables

- $x_{jkpt}$  Cantidad de cajas por fabricar del producto "p" a enviar desde la planta "j" hasta el CD "k" en el periodo "t" [cajas].
- $y_{kipt}$  Cantidad de cajas del producto "p" para enviar desde el CD "k" hasta la BM "i" en el periodo "t" [cajas].
- $hcd_{kpt}$  Nivel de inventario cíclico del producto "p" en el CD "k" al final del periodo "t" [cajas].
- $hb_{ipt}$  Nivel de inventario cíclico del producto "p" en la BM "i" al final del periodo "t" [cajas].
- $nveh_{kitm}$  Número de vehículos de tipo "m" a contratar para la ruta de "k" hasta "i" en el periodo "t" [Vehículos].
- $g_{kimt}$  Binaria de asignación del vehículo tipo "m" a la ruta "k" a "i" en el periodo "t", 1 si se asigna, 0 si no [Entera-binaria].

# Formulación del modelo matemático

## Variables

- $x_{jkpt}$  Cantidad de cajas por fabricar del producto "p" a enviar desde la planta "j" hasta el CD "k" en el periodo "t" [cajas].
- $y_{kipt}$  Cantidad de cajas del producto "p" para enviar desde el CD "k" hasta la BM "i" en el periodo "t" [cajas].
- $hcd_{kpt}$  Nivel de inventario cíclico del producto "p" en el CD "k" al final del periodo "t" [cajas].
- $hb_{ipt}$  Nivel de inventario cíclico del producto "p" en la BM "i" al final del periodo "t" [cajas].
- $nveh_{kitm}$  Número de vehículos de tipo "m" a contratar para la ruta de "k" hasta "i" en el periodo "t" [Vehículos].
- $g_{kimt}$  Binaria de asignación del vehículo tipo "m" a la ruta "k" a "i" en el periodo "t", 1 si se asigna, 0 si no [Entera-binaria].

# Formulación del modelo matemático

## Variables

- $x_{jkpt}$  Cantidad de cajas por fabricar del producto "p" a enviar desde la planta "j" hasta el CD "k" en el periodo "t" [cajas].
- $y_{kipt}$  Cantidad de cajas del producto "p" para enviar desde el CD "k" hasta la BM "i" en el periodo "t" [cajas].
- $hcd_{kpt}$  Nivel de inventario cíclico del producto "p" en el CD "k" al final del periodo "t" [cajas].
- $hb_{ipt}$  Nivel de inventario cíclico del producto "p" en la BM "i" al final del periodo "t" [cajas].
- $nveh_{kitm}$  Número de vehículos de tipo "m" a contratar para la ruta de "k" hasta "i" en el periodo "t" [Vehículos].
- $g_{kimt}$  Binaria de asignación del vehículo tipo "m" a la ruta "k" a "i" en el periodo "t", 1 si se asigna, 0 si no [Entera-binaria].



# Contenido

- 1 Motivación
  - Cadenas de abastecimiento
    - Contexto
    - Factores que inciden en el diseño de la CS
    - Inventarios
- 2 Estrategias previas
  - Limitaciones
- 3 Alcance de la solución
  - La problemática
  - La solución
  - Caracterización
- 4 **Formulación del modelo matemático**
  - Conjuntos e índices
  - Parámetros
  - Variables
  - **Restricciones**
- 5 Práctica investigativa

# Formulación del modelo matemático I

## Restricciones

### Capacidad de las Bodegas Menores

$$\sum_{p=1}^{NPT} [INVINIB_{ip} + \sum_{k=1}^{NCD} y_{kipt}] \leq CAPBM_i \forall i \in NBM, t = 1$$

### Capacidad de las Bodegas Menores, $t > 1$

$$\sum_{p=1}^{NPT} [hb_{ip(t-1)} + isb_{ipt} + \sum_{k=1}^{NCD} y_{kipt}] \leq CAPBM_i \forall i \in NBM, t > 1 \in NT$$

### Capacidad de los Centros de distribución

$$\sum_{p=1}^{NPT} [INVINICD_{kp} + \sum_{j=1}^{NPL} x_{jkpt}] \leq CAPCD_k \forall k \in NCD, t = 1$$

### Capacidad de los Centros de distribución, $t > 1$

$$\sum_{p=1}^{NPT} [hcd_{kp(t-1)} + \sum_{j=1}^{NPL} x_{jkpt}] \leq CAPCD_k \forall k \in NCD, t > 1 \in NT$$

# Formulación del modelo matemático II

## Restricciones

### Capacidad de producción

$$\sum_{k=1}^{NCD} X_{jkpt} \leq CAP_{jp} \forall j \in NPL, p \in NPT, t \in NT$$

### Ecuación de Balance en las BM's, $t = 1$

$$\sum_{k=1}^{NCD} y_{kipt} + INVINIB_{ip} = DEM_{ipt} + hb_{ipt} + ISB_{ip(t+1)} \forall p \in NPT, i \in NBM, t = 1$$

### Ecuación de Balance en las BM's, $1 < t < TN$

$$\sum_{k=1}^{NCD} y_{kipt} + hb_{ip(t-1)} + ISB_{ipt} = DEM_{ipt} + hb_{ipt} + ISB_{ip(t+1)} \forall p \in NPT, i \in NBM, 1 < t < NT$$

### Ecuación de Balance en las BM's, $t = NT$

$$\sum_{k=1}^{NCD} y_{kipt} + hb_{ip(t-1)} + ISB_{ipt} = DEM_{ipt} + hb_{ipt} \forall p \in NPT, i \in NBM, t = NT$$

# Formulación del modelo matemático III

## Restricciones

### Ecuación de Balance en las BM's, $t = 1$

$$\sum_{j=1}^{NPL} x_{jkpt} + INVINICD_{kp} = \sum_{i=1}^{NBM} y_{kipt} + hcd_{kpt} \forall p \in NPT, k \in NCD, t = 1$$

### Ecuación de Balance en las BM's, $t > 1$

$$\sum_{j=1}^{NPL} x_{jkpt} + hcd_{kp(t-1)} = \sum_{i=1}^{NBM} y_{kipt} + hcd_{kpt} \forall p \in NPT, k \in NCD, t > 1 \in NT$$

### Flujo de productos y transporte, *Número de vehículos*

$$\sum_{k=1}^{NCD} \sum_{i=1}^{NBM} nveh_{kitm} \leq CANTVEHI_m \forall t \in NT, m \in NTV$$

### Flujo de productos y transporte, *Capacidad flota*

$$\sum_{p=1}^{NPT} y_{kipt} \leq \sum_{m=1}^{NTV} (CAP_m \cdot nveh_{kitm}) \forall k \in NCD, i \in NBM, t \in NT$$

# Formulación del modelo matemático IV

## Restricciones

Flujo de productos y transporte, *Limitar el número de vehículos*

$$\sum_p y_{kipt} > \sum_m (CAP_m \cdot nveh_{kitm} - 1 * g_{kimt} \forall k, i, t$$

Flujo de productos y transporte, *Restricción de decisión*

$$g_{kimt} \leq 1 \forall i, k, m, t$$

Flujo de productos y transporte, *Coherencia entre decisión y número de vehiculos*

$$nveh_{kitm} \leq g_{kimt} \cdot CANTVEHI_m \forall k \in NCD, i \in NBM, t \in NT, m \in NTV$$

Función de optimización, *Costos de producción*

$$\sum_{j=1}^{NPL} \sum_{k=1}^{NCD} \sum_{p=1}^{NPT} \sum_{t=1}^{NT} COSTOPT_{jp} \cdot x_{jkpt}$$

# Formulación del modelo matemático V

## Restricciones

Función de optimización, *Costos de transporte, de PL a CD*

$$\sum_{j=1}^{NPL} \sum_{k=1}^{NCD} \sum_{p=1}^{NPT} \sum_{t=1}^{NT} FPESO_p \cdot COST_{jk} \cdot x_{jkpt}$$

Función de optimización, *Costos de transporte, de CD a BM*

$$\sum_{t=1}^{NT} \sum_{k=1}^{NCD} \sum_{i=1}^{NBM} \sum_{m=1}^{NTV} nveh_{kitm} \cdot COST_{kim} \cdot x_{jkpt}$$

Función de optimización, *Costos de inventario de seguridad*

$$\sum_{i=1}^{NBM} \sum_{p=1}^{NPT} \sum_{t=1}^{NT} COSTBM_i \cdot ISB_{ipt}$$

Función de optimización, *Costos de inventario de cíclico en CD , t = 1*

$$\sum_{k=1}^{NCD} \sum_{p=1}^{NPT} COSTCD_k \cdot (hcd_{kpt} + INVINICD_{kp} + \sum_j x_{jkpt})/2, t = 1$$

# Formulación del modelo matemático VI

## Restricciones

Función de optimización, *Costos de inventario de cíclico en CD*,  $t > 1$

$$\sum_{k=1}^{NCD} \sum_{p=1}^{NPT} \sum_{t>1}^{NT} COSTCD_k \cdot (hcd_{kpt} + hcd_{kp(t-1)} + \sum_j x_{jkpt})/2, t > 1 \in NT$$

Función de optimización, *Costos de inventario de cíclico en BM*,  
 $t = 1$

$$\sum_{i=1}^{NBM} \sum_{p=1}^{NPT} COSTBM_i \cdot (hb_{ipt} + INVINIB_{ip} + \sum_j y_{kip})/2, t = 1$$

Función de optimización, *Costos de inventario de cíclico en BM*,  
 $t > 1$

$$\sum_{i=1}^{NBM} \sum_{p=1}^{NPT} \sum_{t>1}^{NT} COSTBM_i \cdot (hb_{ipt} + hb_{ip(t-1)} + \sum_j y_{kip})/2, t > 1 \in NT$$

Se plantea entonces crear una metodología que permita mostrar desde la plataforma web los trabajos realizados en el grupo **AVISPA**.

Se plantearon las siguientes fases:

- Estudio Aplicaciones
- Estudio Aplicaciones Web *CREAR*
- Diseño esquema Web
- Creación de Interfaces en XML
- Creación Portal Web



Se plantea entonces crear una metodología que permita mostrar desde la plataforma web los trabajos realizados en el grupo **AVISPA**.

Se plantearon las siguientes fases:

- Estudio Aplicaciones
- Estudio Aplicaciones Web *CREAR*
- Diseño esquema Web
- Creación de Interfaces en XML
- Creación Portal Web

Se plantea entonces crear una metodología que permita mostrar desde la plataforma web los trabajos realizados en el grupo **AVISPA**.

Se plantearon las siguientes fases:

- Estudio Aplicaciones
- Estudio Aplicaciones Web *CREAR*
- Diseño esquema Web
- Creación de Interfaces en XML
- Creación Portal Web

Se plantea entonces crear una metodología que permita mostrar desde la plataforma web los trabajos realizados en el grupo **AVISPA**.

Se plantearon las siguientes fases:

- Estudio Aplicaciones
- Estudio Aplicaciones Web *CREAR*
- Diseño esquema Web
- Creación de Interfaces en XML
- Creación Portal Web

Se plantea entonces crear una metodología que permita mostrar desde la plataforma web los trabajos realizados en el grupo **AVISPA**.

Se plantearon las siguientes fases:

- Estudio Aplicaciones
- Estudio Aplicaciones Web *CREAR*
- Diseño esquema Web
- Creación de Interfaces en XML
- Creación Portal Web