

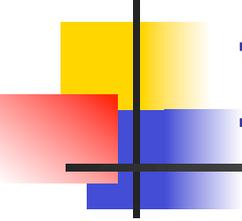
# Logística y Producción

## IN70L-CI5311

### 2011

---

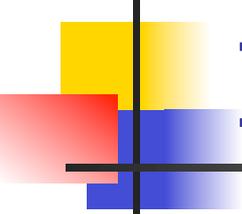
## Capítulo 2: Configuración de Redes Logísticas



# Introducción

---

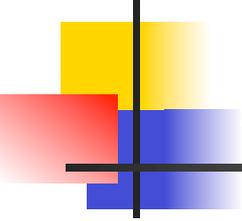
- Decisiones:
  - Para plantas y bodegas:
    - ¿Dónde abrir?
    - ¿Cuándo?
    - ¿Con qué capacidad?
    - ¿Cuándo aumentar la capacidad?
    - ¿En qué momento se deben cerrar?
  - Flujos:
    - ¿Cómo asignar niveles de producción y flujos?



# Introducción

---

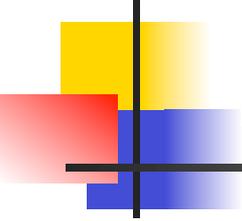
- Múltiples Bodegas versus una Bodega Central:
  - ↑ Nivel de servicio (reducción en tiempos promedio a los clientes).
  - ↑ Costos de inventario (aumenta el stock de seguridad total frente a incertidumbre en demanda de clientes).
  - ↑ Costos de las bodegas (deseconomías de escala).
  - ↑ Costos de transporte a bodegas.
  - ↓ Costos de transporte de bodegas a clientes.



# Recolección de Información

---

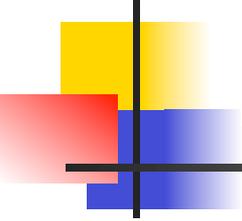
- Información requerida:
  - Localización de clientes, negocios detallistas (retailers), bodegas, centros de distribución, plantas de producción y fuentes de materia prima.
  - Productos, con volúmenes y requerimientos de transporte y bodegaje.
  - Demanda anual por producto y por localización de clientes, efectos estacionales.
  - Costos de transporte, por modo.
  - Dimensión de envíos y frecuencia de entrega a clientes.



# Recolección de Información

---

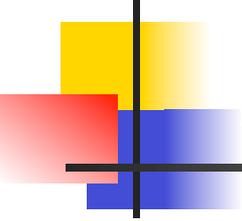
- Costos de bodegaje:
  - Fijos y de operación (mano de obra).
  - De inventario.
- Costos de procesar órdenes.
- Requerimientos y metas de servicio a los clientes.



# Manejo de Datos

---

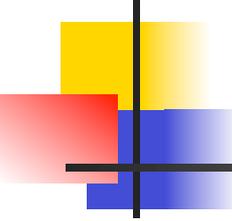
- Paso 1: Agregación de Datos para Discusión Táctico-Estratégica.
  - En general existen demasiados datos por lo que debe hacerse una agregación.
    - Ejemplos:
      - Empresas de bebidas tienen entre 10.000 y 120.000 clientes (cuentas).
      - Wal Mart o JC Penney poseen cientos de miles de productos.
  - Permite la reducción de los datos y un mejor pronóstico de la demanda (reducción en variabilidad).



# Manejo de Datos

---

- Agregación de clientes:
  - Por zona y tipo de servicio o producto que se requiere.
  - Uso de análisis de clusters (conglomerados).
  - Para cada zona y clase se define un cliente representativo, donde:
    - Demanda es igual a la suma de las demandas individuales.
    - La ubicación corresponde al centro de gravedad de los elementos considerados.
- Agregación de productos:
  - Características de distribución (por ejemplo, mismo origen)
  - Tipos de productos, es decir, productos que sean similares en función, costos, uso de capacidades, etc.



# Manejo de Datos

---

## Información Histórica para Dos Clientes

---

<b>Year</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>
Ciente 1	22,346	28,549	19,567	25,457	31,986	21,897	19,854
Ciente 2	17,835	21,765	19,875	24,346	22,876	14,653	24,987
Total	40,181	50,314	39,442	49,803	54,862	36,550	44,841

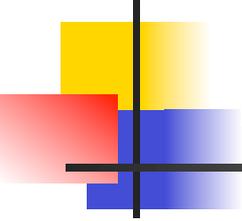
---

## Resumen de la Información Histórica

---

<b>Estadísticas</b>	<b>Demanda Anual Promedio</b>	<b>Desviación Estándar de la Demanda Anual</b>	<b>Coficiente de Variación</b>
Ciente 1	24,237	4,658	0,192
Ciente 2	20,905	3,427	0,173
Total	45,142	6,757	0,150

---

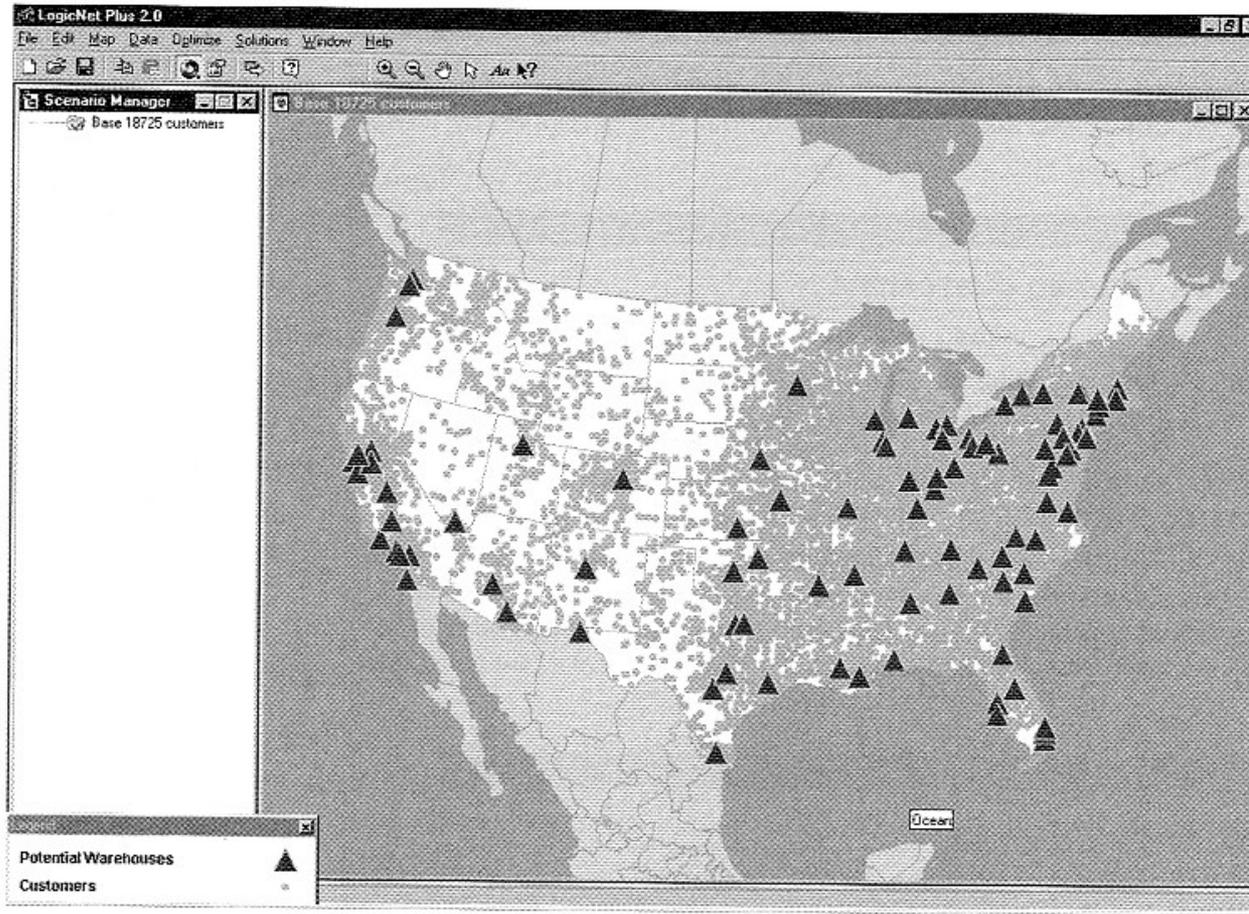


# Manejo de Datos

---

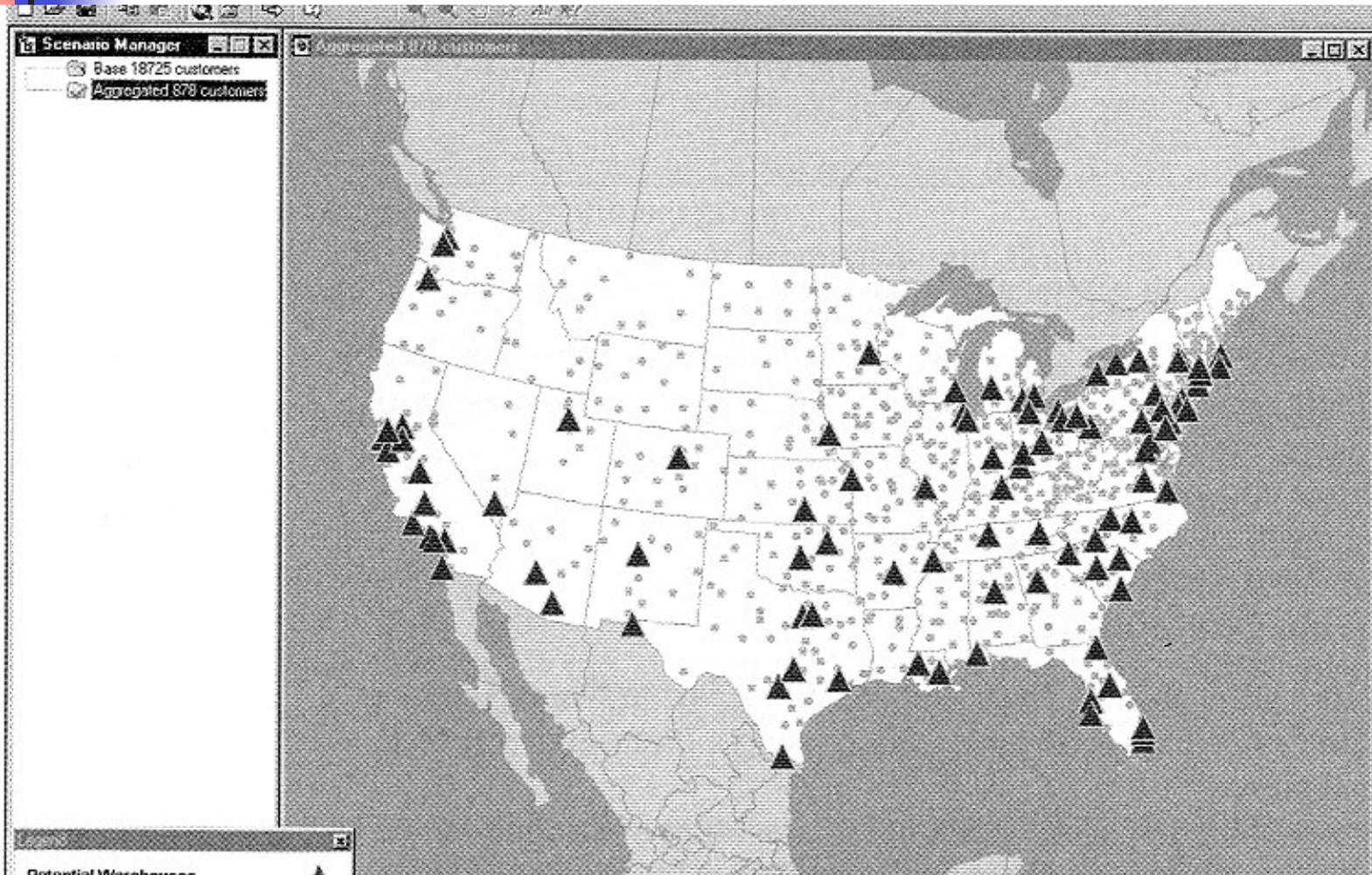
- Esquemas típicos de agregación:
  - Los puntos de demanda se reducen a 150-200.
    - Su hay clases distintas (clasificación en base a niveles de servicio o frecuencia de despacho), cada clase considera 150 a 200 elementos.
    - Los reportes indican que agregar puntos a 150-200 lleva errores menores al 1%.
  - Cada zona se construye de similar demanda, aunque tengas áreas y cantidad de clientes distintos.
    - Poner punto agregado en el centro de gravedad.
  - Agregación de productos a unos 20-50.

# Manejo de datos



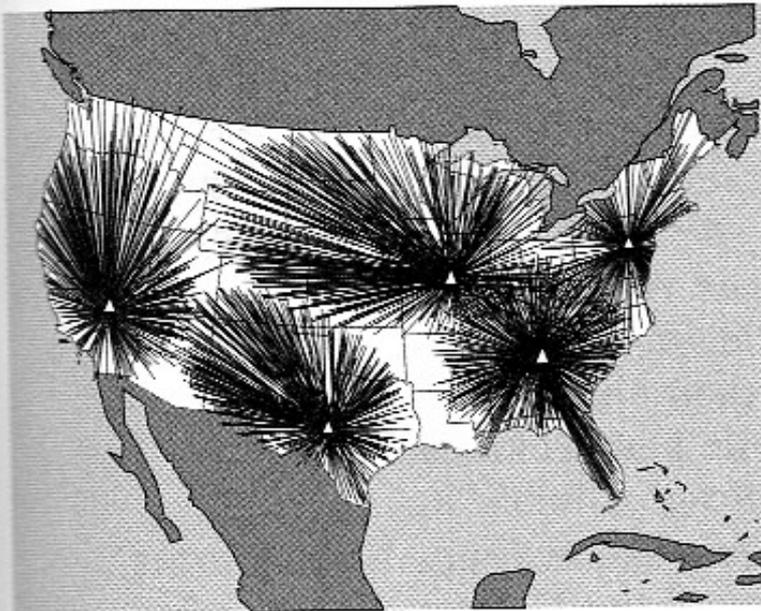
**FIGURE 3-3** The SCP screen representing data prior to aggregation.

# Manejo de datos

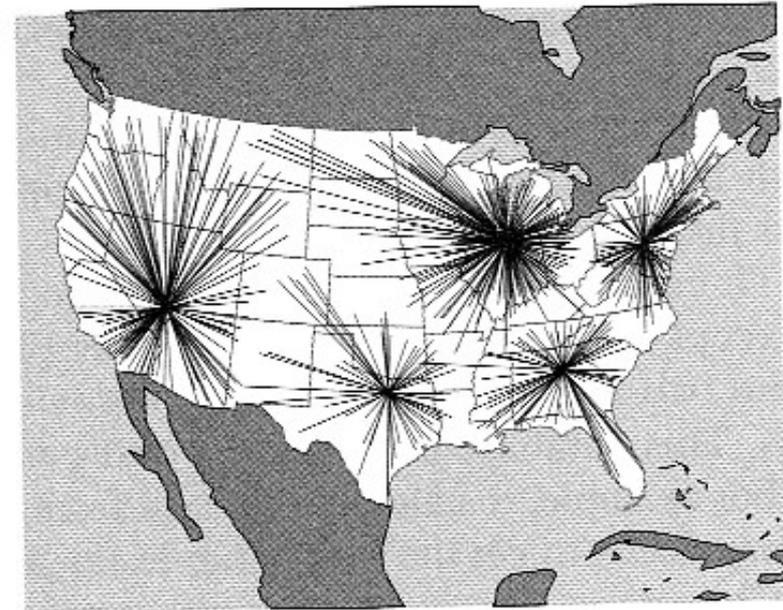


# Manejo de datos

Total cost: \$5,796,000  
Total customers: 18,000

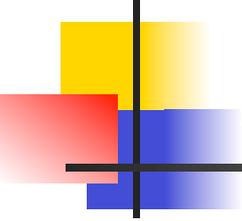


Total cost: \$5,793,000  
Total customers: 800



Cost difference < 0.05%

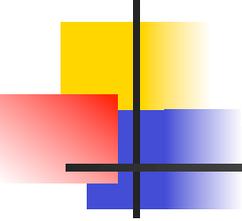
**FIGURE 3-5** The impact of customer aggregation on model accuracy.



# Manejo de Datos

---

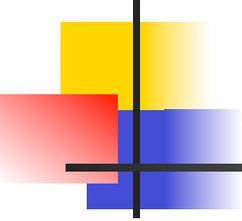
- Paso 2: Estimación de Costos de Transporte para discusión Táctico-Estratégica.
  - Con clientes y productos agregados.
  - Característica relevante: la mayoría de las tasas de transporte son casi lineales con la distancia pero no con volumen
  - Referentes a camiones:
    - Costos fijos de capital (depreciación).
    - Costos fijos de operación (patentes, seguros, sueldos choferes, etc).
    - Costos variables de operación (bencina, aceite, mantenciones, etc).
    - Costos de subcontratación.



# Manejo de Datos

---

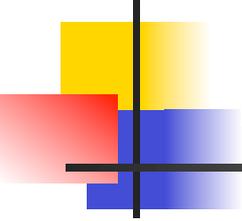
- Referentes a la carga:
  - Tarifas TL (Truck Load) por kilómetro.
  - Tarifas LTL (Less than Truck Load) por kilómetro.
  - Tarifas según densidad, facilidad de manejo y valor del producto.
  - Existen tarifas especiales para commodities.
- Tren ofrece ventajas en distancias largas y grandes volúmenes.
  - Ejemplo: FF.CC.



# Manejo de Datos

---

- Paso 3: Estimación de los Costos de Bodega.
  - Costos de manejo operacional:
    - Mano de obra y servicios básicos (luz, gas y agua).
    - Proporcional al flujo anual por la bodega.
  - Costos fijos:
    - Arriendos o depreciación.
    - Proporcional por tramos a la capacidad de la bodega.
  - Otros:
    - Costos de almacenaje (proporcionales a niveles promedio de inventario positivos).
    - Costos de oportunidad.
    - Pérdidas.



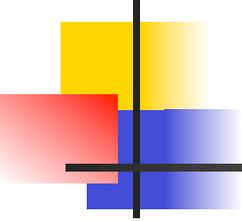
# Manejo de Datos

---

- Estimar los costos operacionales es relativamente sencillo, no así los fijos.
- La capacidad no se diseña para el flujo peak (no conocido bien), sino para el flujo medio más un  $\varepsilon$ .

$$\text{Inventory Turnover Ratio} = \frac{\text{Ventas Anuales}}{\text{Inventario Medio}} = \lambda$$

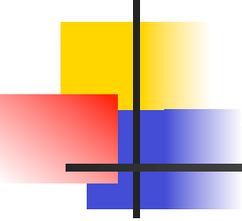
$$\Rightarrow \text{Inventario Medio} = \frac{\text{Ventas Anuales}}{\lambda}$$



# Manejo de Datos

---

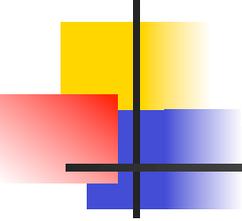
- Si en un bodega consideramos que el inventario peak es igual a dos veces el inventario medio y que existen espacios en los pasillos, zonas de recolección, ordenamiento y procesamiento.
- Entonces, como regla gruesa, se puede establecer que el espacio requerido en bodega es aproximadamente tres veces el requerido para el inventario medio ( $m^3$ ).



# Manejo de Datos

---

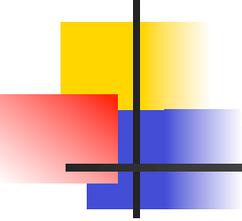
- Paso 4: Localización.
  - Se deben considerar las condiciones geográficas, infraestructura, recursos naturales, mano de obra, regulaciones, impuestos, subsidios, industria local, opinión pública, etc.
  - Más adelante se verá con mayor profundidad.



# Manejo de Datos

---

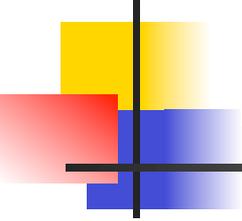
- Paso 5: Requerimientos de Servicio.
  - Se deben analizar los requerimientos del servicio, éstos pueden tomar varias formas:
    - Máxima distancia a clientes (caso rural distinto al caso urbano).
    - Distancia media.
    - Criterio de diseño podría ser que el 95% de los clientes quede situado a no más de 200 kms. de la bodega que los sirve
  - Horizonte típico de 3 a 5 años.



# Manejo de Datos

---

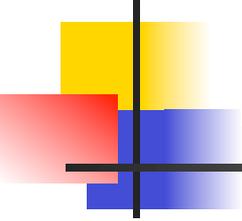
- Paso 6: Validación de Datos.
  - Es fundamental al momento de configurar redes.
  - Consiste en ver si se puede replicar la situación actual, y comparar los flujos y costos actuales.
  - Permite probar cambios marginales (what if):
    - Cerrar una bodega.
    - Cambiar costos.
    - Cambiar flujos.
  - En resumen, permite verificar si el modelo conceptual y el de datos son buenos, además de evaluar posibles cambios.



# Métodos de Solución

---

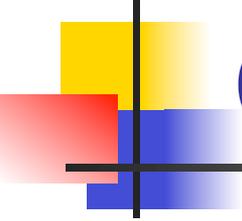
- 1.- Métodos de optimización exactos y aproximados:
  - Modelos de programación lineal con variables binarias.
  - Métodos de Branch&Bound.
  - Fortalecimiento de formulaciones.
  - Enfoques de redondeo.
  - Relajación Lagrangeana.



# Métodos de Solución

---

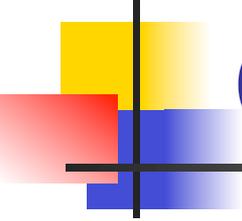
- 2.- Métodos Heurísticos:
  - Búsqueda Tabú.
  - Simulated Annealing.
  - Algoritmos evolutivos (GA, PSO)
- 3.- Simulación.



# Configuración de DSS

---

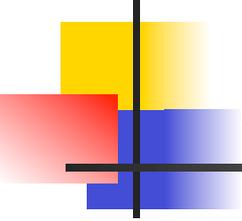
- Un Sistema de Soporte a las Decisiones para configuración de la red debe incorporar los siguientes elementos:
  - Requerimientos de servicio de los clientes.
  - Existencia de bodegas y sus características (costo, capacidad, contratos, etc).
  - Posible expansión de bodegas existentes, y apertura de nuevas bodegas.
  - Costos y flujos posibles (restricciones), de bodega a clientes, entre bodegas.
  - Componentes de los productos (bill of materials).



# Configuración de DSS

---

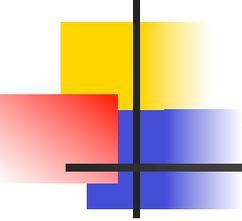
- DSS deber se confiable, flexible a modificaciones, de costos razonables y respuesta rápida.



# Problemas de Localización

---

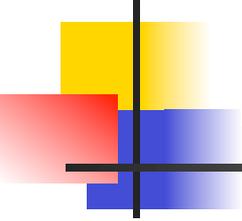
- Características:
  - Están asociados a decisiones de nivel táctico-estratégico.
  - Pueden ser resueltos mediante heurísticas, métodos de descomposición y B&B.
- Decisiones típicas:
  - ¿Dónde localizar una planta o bodega?
  - ¿De qué capacidad debe ser la nueva instalación?
  - ¿Cuál será su nivel de uso?
  - ¿Desde dónde y hacia dónde irán los productos para satisfacer la demanda?



# Problemas de Localización

---

- Datos:
  - Costos de instalación y operación.
  - Costos de transporte.
  - Localización de la demanda.
  - Política de servicio a los clientes.
  - Ubicaciones potenciales.



# Problemas de Localización

---

- Modelo general para un producto:
  - Variables :

$$x_i^t = \begin{cases} 1 & \text{si se instala planta } i \text{ en el período } t. \\ 0 & \sim \end{cases}$$

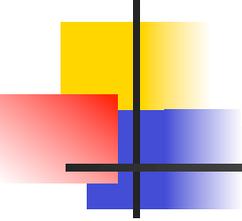
$$y_k^t = \begin{cases} 1 & \text{si se instala bodega } k \text{ en el período } t. \\ 0 & \sim \end{cases}$$

$u_i^t$  = producción de la planta  $i$  en el período  $t$ .

$w_k^t$  = inventario en la bodega  $k$  del período  $t$  al  $t + 1$ .

$f_{ik}^t$  = flujo entre la planta  $i$  y la bodega  $k$  en el período  $t$ .

$g_{ik}^t$  = flujo entre la bodega  $k$  y el cliente  $j$  en el período  $t$ .



# Problemas de Localización

---

## ■ Parámetros:

$a_i^t$  = capacidad de la planta  $i$  en el período  $t$ .

$b_k^t$  = capacidad de la bodega  $k$  en el período  $t$ .

$r_j^t$  = demanda del cliente  $j$  en el período  $t$ .

$c_i^t$  = costo unitario de producción de la planta  $i$  en el período  $t$ .

$d_k^t$  = costo unitario de bodegaje en  $k$  en el período  $t$ .

$e_{ik}^t$  = costo unitario de transporte entre la planta  $i$  y la bodega  $k$  en el período  $t$ .

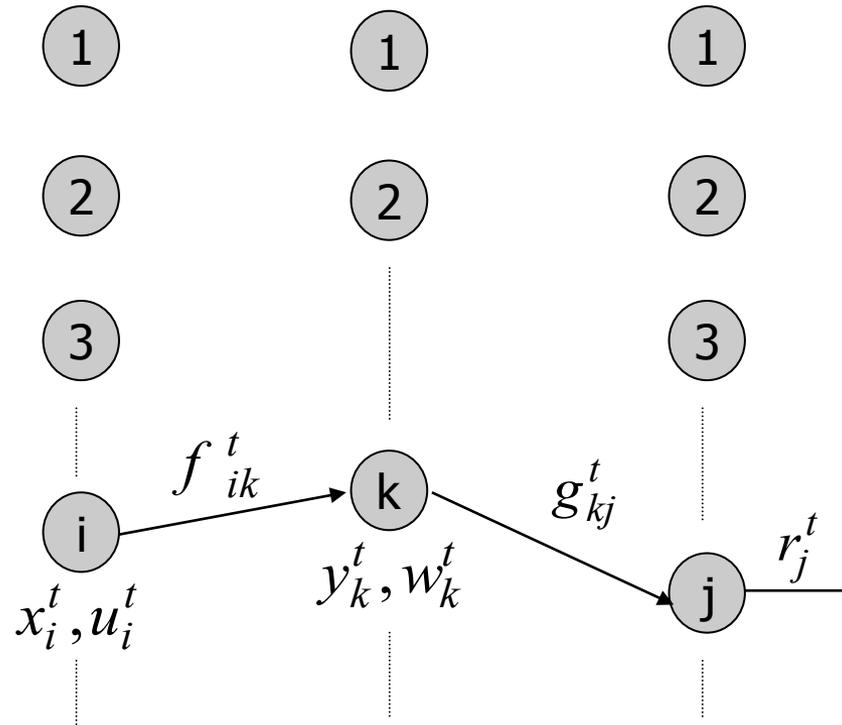
$h_{kj}^t$  = costo unitario de transporte entre la bodega  $k$  y el cliente  $j$  en el período  $t$ .

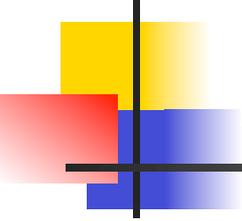
$L_i^t$  = costo de construcción de la planta  $i$  en el período  $t$ .

$M_k^t$  = costo de construcción de la bodega  $k$  en el período  $t$ .

# Problemas de Localización

- Red:

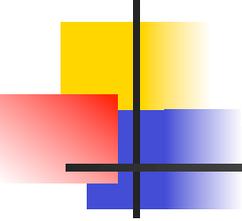




# Problemas de Localización

- Función objetivo:

$$\text{Min } z = \underbrace{\sum_t \left( \sum_i L_i^t x_i^t + \sum_k M_k^t y_k^t \right)}_{\text{Costo Construcción}} + \underbrace{\sum_t \sum_i c_i^t u_i^t}_{\text{Costo Producción}} + \underbrace{\sum_t \sum_k d_k^t w_k^t}_{\text{Costo Bodegaje}} + \underbrace{\sum_t \left( \sum_i \sum_k e_{ik}^t f_{ik}^t + \sum_k \sum_j h_{kj}^t g_{kj}^t \right)}_{\text{Costo Transporte}}$$



# Problemas de Localización

---

- Restricciones:
  - Producción en planta:

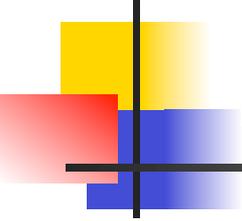
$$u_i^t \leq a_i^t \sum_{\theta=1}^t x_i^\theta \quad \forall i, t.$$

- Construcción de plantas:

$$\sum_{t=1}^T x_i^t \leq 1 \quad \forall i.$$

- Flujo a bodegas:

$$u_i^t = \sum_k f_{ik}^t \quad \forall i, t.$$



# Problemas de Localización

- Bodegaje:

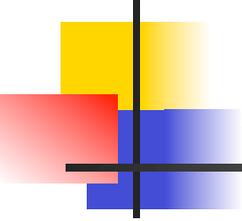
$$\sum_i f_{ik}^t + w_k^{t-1} = \sum_j g_{kj}^t + w_k^t \quad \forall k, t.$$

- Almacenaje en bodegas:

$$w_k^t \leq b_k^t \sum_{\theta=1}^t y_k^\theta \quad \forall k, t.$$

- Construcción de bodegas:

$$\sum_{t=1}^T y_k^t \leq 1 \quad \forall k.$$



# Problemas de Localización

---

- Envío a clientes:

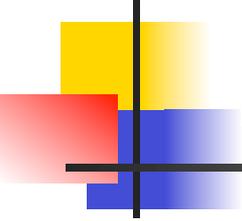
$$\sum_k g_{kj}^t = r_j^t \quad \forall j, t.$$

- Naturaleza de las variables:

$$x_i^t, y_k^t \in \{0,1\}$$

$$u_i^t, w_k^t, f_{ik}^t, g_{kj}^t \geq 0$$

- Métodos de solución:
  - Branch&Bound (Ramificación y Acotamiento).
  - Heurísticas.
  - Métodos de descomposición (Relajación Lagrangeana).



# Problemas de Localización

---

- Casos adicionales:
  - Múltiples productos:

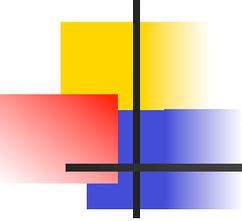
$u_{is}^t$  = producción del producto  $s$  en la planta  $i$  en el período  $t$ .

$a_{isp}$  = uso del recurso  $p$  al producir el producto  $s$  en la planta  $i$ .

$Cap_{ip}^t$  = capacidad del recurso  $p$  en la planta  $i$  en el período  $t$ .

$$\sum_s a_{isp} u_{is}^t \leq Cap_{ip}^t \quad \forall i, p, t.$$

En forma similar para flujos en bodegas.



# Problemas de Localización

---

- A cada cliente lo atiende sólo una bodega:

$$z_{kj}^t = \begin{cases} 1 & \text{si el cliente } j \text{ es atendido por bodega } k \text{ en el período } t. \\ 0 & \sim \end{cases}$$

$$g_{kj}^t = r_j^t z_{kj}^t \quad \forall k, j, t.$$

$$\sum_{k=1}^K z_{kj}^t = 1 \quad \forall j, t.$$