

# Logística de Transporte

Dpto. Ingeniería Industrial, Universidad de Chile

IN47B, Ingeniería de Operaciones

# Contenidos

- 1 Despacho de Vehículos
- 2 Diseño de Flota

# Tipo de Decisiones:

- Tácticas-Estratégicas:
  - Diseño de flota:
    - ¿Cuántos vehículos?
    - ¿De qué tipo? (capacidad, rendimiento, precio, mantención)
    - ¿Flota propia o subcontratada?
- Operacionales:
  - Asignación de vehículos a tareas o clientes.
  - Ruteo de vehículos.

# Características Generales I

- Tipos de Vehículos
  - Pasajeros:
    - Buses (transporte público).
    - Taxis.
    - Tren.
    - Aviones.
    - Barcos.
  - Servicios:
    - Correo.
    - Basura.
    - Emergencia médica.
    - Chilectra.
    - Carga en grandes volúmenes.
    - Transporte expreso.

# Características Generales II

- Productos:
  - Embotelladora (por ejemplo, CCU).
  - Supermercados.
  - Minerales (por ejemplo, Chuquicamata).
  - Bosques.
  - Bencina (por ejemplo, Shell).
- Flota
  - Un vehículo.
  - Múltiples vehículos:
    - Vehículos iguales.
    - Vehículos de distinto tipo (costo, capacidad, etc.).  
Ejemplo: vehículos con compartimientos (COPEC).
    - Vehículos configurables (Trenes de carga / pasajeros).

# Características Generales III

- Relaciones Contractuales
  - Vehículos propios:
    - Permiten mayor control y seguridad de servicio.
  - Vehículos subcontratados:
    - Permiten descentralización administrativa.
    - Es vital en este caso el tema de los contratos (costo real versus costo de contrato).
  - Sistema mixto:
    - Vehículos propios y subcontratados:
    - Sirve para calcular costos y asegurar el servicio a los clientes más importantes.
    - Típicamente se utilizan vehículos subcontratados en períodos de demanda peak (Ejemplos: UPS, Embotelladoras Andina, FEDEX).

# Características Generales IV

- Número de depósitos:
  - Uno.
  - Múltiples (una o más plantas).
- Número de destinos:
  - Uno.
  - Múltiples (madera: puerto, aserraderos, planta de celulosa.).
- Demanda:
  - Determinística: entregas de una supertienda.
  - Semi-aleatoria: embotelladora.
  - Aleatoria:
    - En volumen: CCU.
    - En localización: fallas Chilectra.

# Características Generales V

- En tiempo de viaje: Shell.
- Frecuencia de viajes:
  - Múltiples por día: Chuquicamata.
  - De duración de más de un día: Aserraderos Arauco.
- Tiempos de trabajo:
  - Con sobretiempo.
  - Sin sobretiempo.
- Tiempos y distancias de viaje:
  - Conocidos: minería.
  - Estimados: bosque.
  - Aleatorios: Viaje en ciudades, Viajes largos en el mar (sujetos a clima), Viajes aéreos (sujetos a clima).



# Características Generales VI

- Objetivos:
  - Minimizar costos reales.
  - Minimizar costos de contrato.
  - Minimizar tiempo de llegada (emergencia).
  - Maximizar la calidad del servicio (clientes atendidos a tiempo).
  - Minimizar el riesgo de no cumplir la demanda.
  - Maximizar beneficio neto.
- Componentes del Costo:
  - Costos fijos:
    - De Capital (depreciación).
    - De operación (sueldos, seguros, patentes, etc.).
  - Costo variables de operación (bencina, mantención, repuestos, etc.).

# Tipos de Ruteo

## De bodega a clientes:

Los vehículos salen de la bodega, visitan a los clientes y vuelven a la bodega.

Ejemplos: CCU, Correos, Chilectra y Falabella.

## Ida y vuelta entre orígenes y destinos:

Los vehículos recogen carga en los orígenes y entregan en los destinos. Caso típico de los recursos naturales.

Ejemplos: cobre, madera y caña de azúcar.

# Factores Adicionales: I

- Camiones con compartimentos para distintos productos: .
- Restricciones en la duración de la ruta (por ejemplo, terminar antes de 8 horas).
- Ventanas de tiempo:
  - Supermercado permite descargar entre 6-8 y 21-23 hrs.
  - Documentos bancarios.
  - Prohibición de entrar al centro en determinadas horas.
- Relaciones de precedencia fija entre algunos clientes.

# Factores Adicionales: II

- Tamaño de flota variable.
- Penalidad por no cumplir con algún cliente (subcontrato).
- Entregas periódicas, rutas que repiten clientes (por ejemplo, clientes que reciben dos veces por semana).
  - Petróleo.
  - Bebidas.
- Ruteo con inventario:
  - Bombas de bencina: los clientes deben ser atendidos antes que se acabe la bencina.
- Problemas de congestión.

# Factores Adicionales: III

- Ligazón cliente-vehículo.
- Transbordos: camión-tren.
- Costos de ida y vuelta distintos entre clientes.

# Requerimientos de Información

- Sobre Vehículos:
  - Costos.
  - Características técnicas (capacidad, velocidad, etc.).
- Sobre Clientes:
  - Demandas.
- Geográfica:
  - Distancias y tiempos de viaje (difíciles de estimar):
    - Si se tienen las coordenadas de los clientes se pueden calcular las distancias euclidianas, siendo los costos proporcionales a éstas.
    - Si se conocen los tiempos (costos) en cada arco de una red computarizada, se pueden calcular las rutas más cortas.

# Características

- Se puede basar en la estimación de demandas medias, considerando un margen de error.
- Para la demanda peak se pueden manejar diversas alternativas:
  - Un número mayor de vehículos en la flota.
  - Postergar demandas.
  - Subcontratación de transporte.
  - Alianzas estratégicas.

# Formas de Solución

- Cálculo directo: número aproximado de clientes por vehículo.
- Simulación: análisis de distintos escenarios.
- Modelos matemáticos.  
Ejemplo: Modelo Lineal Entero.
  - Características:
    - Un tipo de vehículo.
    - Un período.
    - Un producto.



# Ejemplo: Modelo Lineal

Variables:

$x_{ij}$ : Número de viajes desde el origen  $i$  al destino  $j$ .

$N$ : Número de vehículos.

Parámetros:

$a_i$ : Oferta del origen  $i$ .

$b_j$ : Demanda del destino  $j$ .

$t_{ij}$ : tiempo viaje del origen  $i$  a destino  $j$  y vuelta.

$\alpha$ : Factor conversión camiones/hora.

Formulación:

$\min N$

$$\text{s.a } \sum_j x_{ij} = a_i \quad \forall i = 1, \dots, m$$

$$\sum_i x_{ij} = b_j \quad \forall j = 1, \dots, m$$

$$N = \alpha \sum_{i,j} t_{ij} x_{ij}$$

$$x_{ij} \geq 0$$

Donde  $\sum_i a_i = \sum_j b_j$ .

# Otros Aspectos:

- Formas de Ruteo:
  - Ruteo estático: se planea ruta a comienzo del día.
  - Ruteo dinámico: clientes se agregan en tiempo real.
- Problemas de Implementación:
  - Cómo incorporar información en tiempo real?:
    - GPS (Sistemas de Posicionamiento Geográfico).
    - Comunicación Satelital.
    - Despliegues gráficos.
  - Robustez y transportabilidad de los métodos.

# Métodos de Solución:

- Manuales:
  - Basados en la experiencia del operador.
  - Usando mapas, afiches, cartas Gantt, pizarras, etc.
  - Solución por lógica.
- Heurísticos:
  - Utilización de computadores.
  - Aproximados a la solución óptima.
- Optimización:
  - Modelos matemáticos.
  - Aproximaciones con heurísticas.

Otros Aspectos:

# Métodos Heurísticos Simples:

## Tipos de Heurísticas:

### Construcción de rutas:

añadir arcos mediante algún criterio hasta obtener una solución factible.

### Mejoramiento de rutas:

partir con una solución de ruteo y hacer intercambios de clientes en las rutas para mejorar las soluciones.

### Agrupar y rutear:

primero asignar clientes a vehículos, para luego rutearlos bien (problema del vendedor viajero).