

*“La Demanda de Transporte y el
Proceso de Planificación Analítica.”*

Presentan:

M.Ec. Víctor M. Islas Rivera

M. I., M. Ec. César Rivera T.

Noviembre 2002

Contenido

1. El Proceso de Planificación del Transporte Urbano

1.1. Generalidades

1.2. El proceso de planificación del transporte urbano

1.3. Esquema de decisiones

1.3.1 Macro decisiones

1.3.2 Micro decisiones

1.4. Los instrumentos de política estatal en el transporte urbano

1.5. Funciones de la planeación del transporte

2. Modelos de comportamiento de los viajes.

2.1 Modelos de generación,

2.2 Modelo de distribución,

2.3 Modelo de asignación de ruta, y

2.4 Modelo de selección modal.

3. Los Planes Globales de Transporte y Vialidad

3.1 Objeto y estructura

3.2 Plan de transporte público

3.3 Plan de vialidad

3.4 Plan de semaforización y señalamiento

3.5 Plan de estacionamiento y terminales

4. Planeación para el Transporte Público

4.1 Los modos de transporte público

4.2 La demanda de transporte

4.2.1 Factores de la demanda de transporte

4.2.2 La elasticidad precio de la demanda

4.2.3 La elasticidad cruzada

4.3 La Oferta de transporte

El concepto de transporte.

(Muñoz De Luna., 1976)

- Es un proceso
tecnológico,
económico
y social
- Tiene la función de trasladar en el espacio a personas y bienes venciendo las barreras de tiempo y espacio, manteniendo propiedades cuantitativas y cualitativas

Atributos de los sistemas de transportación.

- Velocidad
 - Capacidad
 - Seguridad
 - Frecuencia
 - Regularidad
 - Facilidad de acceso
 - Simplicidad
- ☑ Responsabilidad
 - ☑ Cobertura
 - ☑ Flexibilidad
 - ☑ Costo
 - ☑ Respeto al ambiente
 - ☑ Armonía visual con el medio físico

Conceptos.

Viaje. Es el desplazamiento de una persona asociado a un origen y un destino preestablecidos y resultante de un propósito determinado.

Tramo de viaje. Es la parte del viaje que se realiza sin cambio en el modo de transporte, esto es, un viaje puede incluir varios transbordos y entre cada par de transbordos están los tramos.

Líneas de deseo. Es el resultado de la convergencia de los viajes en la ciudad, esto es, la coincidencia de cierta cantidad de viajes en el horario, la dirección y el sentido, en tal magnitud que es posible agruparlos en un bloque continuo.

Cont.

El Congestionamiento urbano. Es el fenómeno espacio-temporal en el que la demanda supera a la oferta, esto es, a la capacidad vehicular, peatonal.

Capacidad. Es la cantidad de usuarios que pueden ser atendidos simultáneamente por un servicio.

- **Estática.** Depende de sus dimensiones y características. Se puede medir antes de realizar el servicio.
- **Dinámica.** Es la que se observa en un periodo determinado cuando ya se han puesto en circulación los vehículos y en general han funcionado las diversas partes del sistema.

Planeación del Transporte.

La planeación del transporte puede ser dividida en dos partes:

1) La primera es examinar los factores que influyen el nivel de la demanda de viajes y analizar las relaciones entre ellos para predecir los patrones de viaje futuros.

2) La segunda se refiere a la ingeniería del transporte, la cual se relaciona con los flujos de tráfico esperados.

Atributos del Transporte.

1) Satisfacción de las necesidades de movilización de personas

2) Eficiencia y economía en el servicio

Problema de Transporte

Estudios:

- Las características del patrón de viajes en la ciudad como son: Origen, Destino, distribución modal y horario, motivo y longitud del viaje, etc.
- Las alternativas tecnológicas y administrativas acordes con las necesidades planteadas por tales viajes.

Esquema simplificado de planificación.

- 1) Análisis de los antecedentes e investigación de la situación actual**
- 2) Diagnóstico de la situación actual**
- 3) Pronóstico a corto, mediano y largo plazo**
- 4) Generación de opciones de solución**
- 5) Evaluación de opciones de solución**

Esquema de Decisiones.

Macrodecisiones

- 1) De política global. Prioridad al transporte público**
- 2) Opciones de organización. Transportes públicos o privados**
- 3) Distribución modal de viajes. Reparto modal**
- 4) Equipamiento. Vehículos, infraestructura**
- 5) Coordinación modal. Zonas de transferencia**
- 6) Política tarifaria. Evaluación y determinación de la tarifa**
- 7) Políticas generales de operación. Velocidad de operación**

Esquema de Decisiones.

Microdecisiones

- 1) Diseño. Instalaciones e infraestructura**
- 2) Funcionalidad. Programación de servicios**
- 3) Fabricación y compra de equipo. Aprovisionamiento de equipo**
- 4) Economía y financiamiento. Obtención de recursos económicos: Tarifa, financiamiento, y venta de otros servicios (publicidad)**
- 5) Administración interna. Estructuración orgánica**

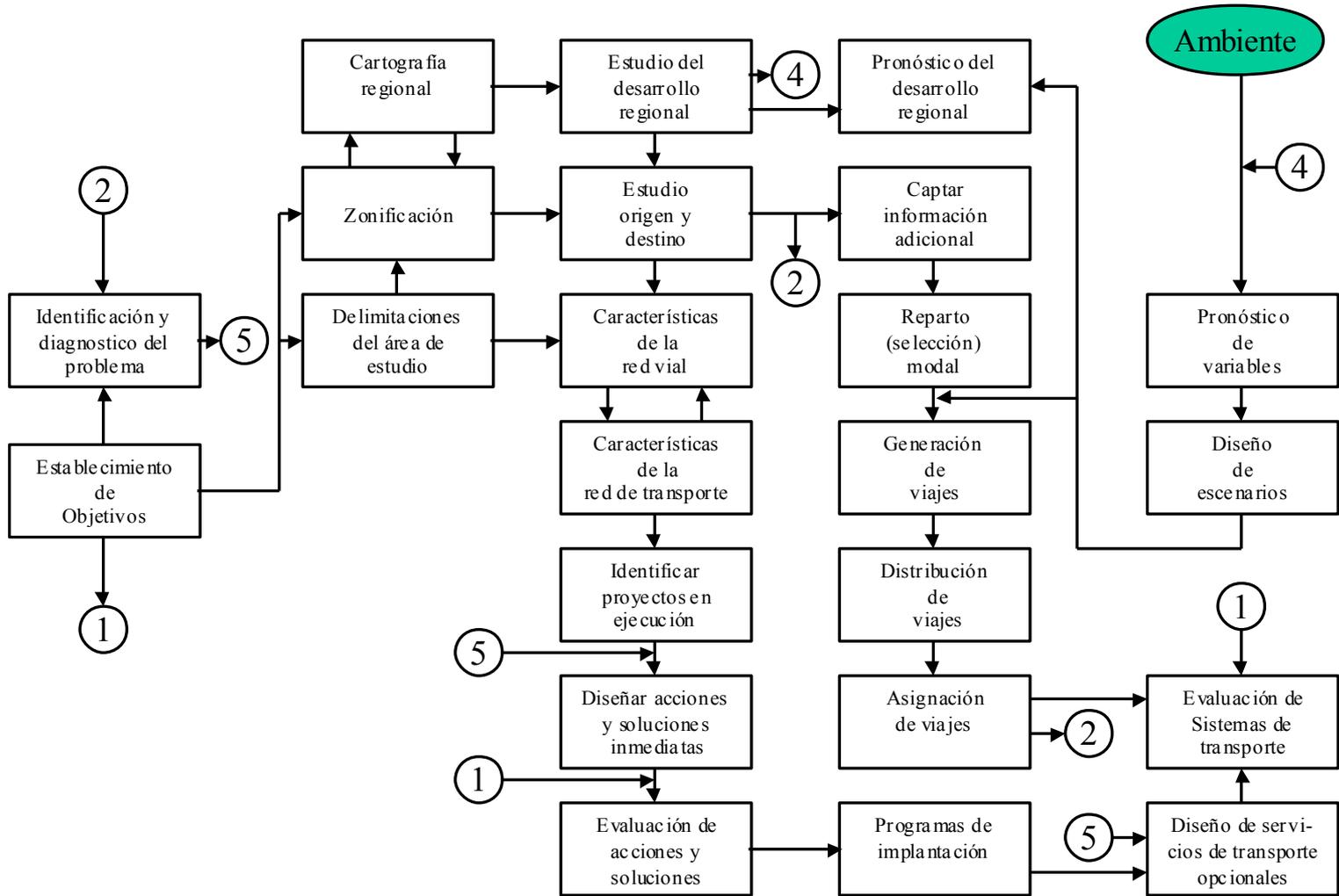
Los instrumentos de política estatal en el transporte.

Los instrumentos que son necesarios para un primer análisis de la política de transporte son:

- Los planes y programas oficiales. Incluye la formulación de los objetivos y metas de la política, así como de los medios necesarios para alcanzarlos**
- Coordinación del transporte y control estatal**
- Inversión**
- Tarifas y subsidios**

El proceso de planeación del transporte es una operación cara y de consumo de tiempo. Debe ser un continuo proceso, donde comparaciones realizadas regularmente deberían de hacerse entre el actual y predicho desarrollo del tráfico y uso del suelo.

FUNCIONES DE PLANIFICACION DEL TRANSPORTE



Funciones de la planeación del transporte.

- **Identificación y diagnóstico del problema(s)**
- **Establecimiento de objetivos**
- **Cartografía regional**
- **Delimitación del área de estudio**
- **Zonificación**
- **Desarrollo de la estructura urbana**
- **Pronóstico de la estructura urbana**
- **Estudio Origen-Destino**
- **Captar información adicional**
- **Características de la red vial**
- **Características de la red de transporte**

Cont. - Funciones de la planeación del transporte.

- **Identificación de proyectos de ejecución**
- **Diseñar acciones y soluciones inmediatas**
- **Evaluación de acciones y soluciones**
- **Programas de implantación**
- **Modelos de comportamiento de los viajes:**
 - **Generación de viajes**
 - **Distribución de viajes**
 - **Reparto modal**
 - **Asignación de viajes**
 - **Pronóstico de variables**
- **Diseño de escenarios**

Principios de Modelación del Transporte.

Selección del Modelo Correcto depende de:

- **El propósito del ejercicio. Para comprender, explicar, predecir: el uso y desempeño, diseño, evaluación del SISTEMA.**
- **Nivel de detalle, precisión y certidumbre requerida. Detalle en el diseño. Detalle → Más costoso y quizás no útil. Pronósticos, margen de error, escenarios, análisis de sensibilidad.**
- **Los recursos disponibles. Restricciones de tiempo y costo.**

Técnicas de Modelación.

- **Técnicas de Pronóstico Suaves**
 - **Técnica Delphi. Panel de expertos, conferencia**
 - **Analogía histórica. ¿Que sucedió en circunstancias similares en le pasado?**
 - **Investigación del mercado. Uso de datos de intención y actitudes, utilizando técnicas analíticas**
- **Modelos de Elasticidad de la demanda. Representan la sensibilidad de la demanda a varias características de la oferta: Elasticidad precio, elasticidad del nivel de servicio.**
 - **Aplicaciones: Instalaciones de cuota (estacionamientos, autopistas de cuota)**
- **Extrapolación de tendencias**
- **Modelos econométricos**

Modelos.

Reif, Benjamin.: "Modelos en la planificación de ciudades y regiones

Toda representación es un modelo y el objetivo de éste es proveer un cuadro simplificado e inteligible de la realidad, con el fin de comprenderla mejor

Se pueden concebir los modelos como aproximaciones selectivas que, gracias a la eliminación de detalles incidentales, permiten captar en forma global algunos aspectos fundamentales, relevantes o interesantes del mundo real. Un modelo debe ser lo suficientemente SIMPLE para su manipulación y comprensión por parte de quienes lo usan, lo suficientemente REPRESENTATIVO en toda su gama de implicancias que pueda tener, y lo suficientemente COMPLEJO para representar fielmente el sistema en estudio.

Un modelo matemático tiene las siguientes ventajas:

1. El sistema bajo estudio es aislado e independiente, capacitando para el cálculo de la solución óptima.
2. Es factible considerar el medio ambiente y sus cambios para retroalimentar las decisiones.
3. Se hace posible simular, a un relativamente bajo costo, el efecto de decisiones antes de tomarlas.
4. El tomador de decisiones, al determinar el comportamiento, esto es, la interacción de los elementos del sistema, obtiene claridad en su estudio.
5. Se reduce la subjetividad o el criterio personal.
6. Al utilizar herramientas cuantitativas, es posible realizar la toma de decisiones sobre bases más sólidas.
7. En especial, los modelos podrían permitir el manejo de datos y tener opiniones más serias y profesionales.

Los métodos y modelos matemáticos asociados a las redes de optimización mas frecuentes son:

- *problemas de flujo máximo en una red,*
- *problemas de flujo por una red a costo mínimo,*
- *problemas de flujo máximo por una red a costo mínimo,*
- *problemas de flujos múltiples por una red*
- *Algoritmo de la ruta más corta*
- *Algoritmo de Dijkstra*
- *Método del Vendedor Ambulante*
- *Método de Rover*
- *Método de Clark y Wriqth*
- *Modelo de transporte de I.O.*
- *Etc., etc., etc.*

EL PROBLEMA DEL TRANSPORTE EN LA PROGRAMACIÓN LINEAL

El problema general de transporte se interesa por resolver la distribución de *cualquier* artículo desde *cualquier* grupo de centros de suministro, almacenes, centros de producción, etc., llamados **orígenes**, hacia *cualquier* grupo de centros receptores, centros de distribución, clientes, etc., llamados **destinos**, de modo que se minimicen los costos totales de distribución.

El planteamiento de programación lineal de este problema queda

Minimizar $Z = \text{SUM} (c_{ij} x_{ij})$

sujeta a

$x_{ij} = s_i$, para $i = 1, 2, \dots, m$

$x_{ij} = d_j$, para $j = 1, 2, \dots, n$

x_{ij} mayor o igual a 0, para todo i y j

donde Z es el costo total de distribución, y x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) son las unidades que deben distribuirse de la fuente i al destino j .

Lo anterior significa que, en general, la fuente u origen i ($i = 1, 2, \dots, m$) tiene un suministro de s_i unidades para distribuir a los clientes o destinos, y el destino j ($j = 1, 2, \dots, n$) tiene una demanda de d_j unidades para ser recibidas de las fuentes.

Una suposición básica es que el costo de la distribución de unidades de la fuente i al destino j es directamente proporcional al número distribuido, donde c_{ij} denota el costo por unidad distribuida.

Costo por unidad *distribuida*

		<i>Destino</i>				<i>Suministro</i>
		1	2	<i>...</i>	n	
Fuente	1	c_{11}	c_{12}	<i>...</i>	c_{1n}	s_1
	2	c_{21}	c_{22}	<i>...</i>	c_{2n}	s_2
	:	:	:	<i>...</i>	:	:
	m	c_m	c_{m2}	<i>...</i>	c_{mn}	s_m
Demanda		d_1	d_2	<i>...</i>	d_n	

Modelos de comportamiento de los viajes.

- También denominados como modelos de las cuatro fases:
- modelos de generación,
- modelo de distribución,
- modelo de asignación de ruta, y
- modelo de selección modal.

Generación de viajes

Trata de identificar los factores que motivan a los usuarios del transporte a salir de una zona teniendo como destino a otra de las zonas (producción del viaje) o, a arribar a una zona teniendo como origen a cualquiera de las zonas (atracción del viaje), dentro del área de estudio.

- $V_i = \alpha(Pob_i) + \beta(Veh_i) + \delta(Acc_i) + \Theta.$
 $i = 1, 2, 3, \dots, n.$

Distribución de viajes

Trata de identificar los factores que motivan a los usuarios del sistema de transporte a ir de una zona (de "producción" del viaje) a otra zona (de "atracción" del viaje).

- $$M_{ij} \propto \frac{(V_i)(V_j)}{(d_{ij})^\beta}$$

La selección modal

Desea representar el fenómeno mediante el cual los usuarios valoran los atributos de calidad o utilidad que les ofrece cada modo de transporte

$$P\langle \text{MODO:M} \rangle = \frac{\exp(-D(\text{MODO}))}{\text{SUM}(\exp(-D(M)))}$$

La asignación de viajes

- Consiste en identificar las rutas óptimas de los viajes, esto es, la mejor forma en que las personas recorrerán las redes viales o de transporte para ir de sus orígenes a sus destinos
 - 1.-Matriz de origen y destino de los viajes.
 - 2.- Se "construyen" las redes de transporte y vialidad por las que se simulará el recorrido.
 - 3.- Acopio de estadísticas respecto de la operación actual de las redes vial y de transporte.
 - 4.- Aplicación del modelo de asignación con fines de calibración.
 - 5.- "Explotación" del modelo.

Los Planes Globales de Transporte y Vialidad.

Objeto y estructura:

El Plan Global de Transporte (PGT) es el producto natural del proceso de planificación del transporte.

Un PGT típico tendría, aproximadamente, la siguiente estructura:

- Descripción general del problema actual**
- Diagnóstico general**
- Pronóstico general**
- Objetivos del PGT**
- Estrategia del PGT y planes específicos**

Los Planes Globales de Transporte y Vialidad.

Plan de transporte público

- **Descripción de recorridos (traza de las rutas)**
- **Estudio de ascenso y descenso**
- **Inventario de equipo (vehículos e instalaciones)**
- **Encuesta Origen-Destino a bordo de los vehículos (en caso de no realizarse la encuesta domiciliaria)**
- **Estudio de demoras y tiempos de recorrido**
- **Esquema de organización y estructura jurídico-administrativa**
- **Estudio de frecuencias de paso**
- **Inventario de puntos de penetración**
- **Encuesta de opinión de los usuarios**

Los Planes Globales de Transporte y Vialidad.

Plan de vialidad

- Inventario de la vialidad
- Aforos de tránsito
- Nivel de saturación de las vías
- Estudios de velocidad y retardos
- Aforos peatonales
- Nivel de ocupación de los vehículos
- Accidentes de tránsito (análisis estadístico)
- Nivel de servicio de las vías (análisis de capacidad actual y futura)
- Propuesta de reestructuración de la red vial

Los Planes Globales de Transporte y Vialidad.

Plan de estacionamientos:

- Encuesta para determinar la demanda de estacionamiento (de no contar con la encuesta O-D)
- Inventario de estacionamiento en la vía pública
- Inventario de estacionamiento fuera de la vía pública
- Inventario de lotes y espacios susceptibles de ocupar como estacionamientos al aire libre, o para la construcción de edificios de estacionamiento

• Plan de terminales:

- Inventario de terminales interurbanas de pasajeros
- Inventario de terrenos y espacios susceptibles de ocupar la construcción de terminales de pasajeros
- Puntos de penetración de los autobuses interurbanos

Estudios de Transporte Urbano.

Encuesta Origen y Destino (O-D)

- Objetivo central: Estudiar (conocer, investigar) la movilidad de una zona, región, modo o ruta de transporte.
- Objetivos secundarios:
 - Detectar posibles zonas con demanda insatisfecha
 - Se tendrían indicios de deficiencia en la operación del sistema de transporte (se incluyen tiempos, costos y demoras)
 - Es un insumo indispensable para calibrar al modelo de asignación de viajes
 - Para evaluar el impacto en la movilidad en ciertos eventos que modifican la estructura urbana

Clasificación de los Estudios O-D.

- 1) Estudios O-D en caminos o intersecciones (vehiculares):
Entrevista al lado del camino, tarjetas postales al conductor**
- 2) Estudios O-D a bordo de vehículos de transporte público**
- 3) Estudios O-D en estaciones de intercambio o transbordo**
- 4) Estudios O-D en polos especiales de generación o atracción de viajes**
- 5) Encuesta domiciliaria**

Estudio de la movilidad.

Movilidad urbana. Los deseos del traslado de la gente

Si el interés recae en la planeación integral, el diseño de la Encuesta Origen-Destino contiene los siguientes elementos:

- origen y destino de los viajes,**
- modo de transporte utilizado,**
- horario de los viajes,**
- costo del usuario,**
- tiempo de traslado,**
- tipo de estacionamiento utilizado (en su caso),**
- nivel de ingresos del usuario o del hogar.**

Estudio de la movilidad.

- **Estudio de ascenso y descenso**
 - **Elaboración del polígono de carga**
- **Estudio de tiempos de recorridos y demoras**
- **Estudio de frecuencias**

Indicadores

En el transporte, se pueden tomar como indicadores del servicio de transporte:

- Miles de pesos de venta del servicio**
- Pasajeros transportados**
- Pasajeros – kilómetro**
- Toneladas**
- Toneladas – kilómetro**

Y como indicadores de los recursos:

- Empleados**
- Kilómetros de infraestructura**
- Cantidad de vehículos**
- Millón de pesos de inversión**

Unidades de medición de la Demanda y Oferta del Transporte:

- Viaje. Esta es una forma fácil y práctica de medir los deseos de movimiento de las personas y sus bienes. Sin embargo no resulta fácil asociarla con la oferta.
- Pasajeros. Por el contrario, para la empresa de transporte, es más fácil hablar de pasajeros, como la demanda que enfrenta y que tiene que satisfacer con oferta de espacio para esos pasajeros. El problema que tiene lo anterior radica en que los viajes largos son igualmente valorados que los viajes cortos.

Unidades de medición de la Demanda y Oferta del Transporte:

Pasajeros Kilómetro (Pax-Km). Para corregir el anterior defecto, una mejor medida consiste en multiplicar los viajes por la distancia que implican, llegándose al concepto de pasajeros kilómetro. Por ejemplo, 10 pasajeros demandando viajes de 1.5 kilómetros (o sea, 15 pax-km) requieren más oferta que esos mismos diez pasajeros demandando sólo 1 kilómetro en sus viajes (o sea, 10 pax-km).

Pasajeros Kilómetro por Unidad de Tiempo (pax-km/Tiempo). Sin embargo, en ocasiones resulta necesario conocer la intensidad con que se presenta la demanda con relación al tiempo. Así. Por ejemplo, es muy importante saber si los 10 pasajeros-kilómetro demandados se presentan en una hora o en media hora.

Unidades de medición de la Demanda y Oferta del Transporte:

Vehículo. En otras ocasiones, la demanda de transporte se hace por todo un vehículo y no por cada usuario. Así, se contrata al vehículo para que realice un viaje, o por un periodo de tiempo. Así, también pueden construirse las unidades veh-km o veh-hora, o incluso la más elaborada de veh-hora-hora.

Carga. Similarmente al caso de las personas, en lugar de viajes y envíos, se puede ser más preciso para identificar el esfuerzo que se requiere y tener unidades como son: Toneladas, Toneladas-km, Ton-km-tiempo, etc.

Demanda y Oferta del Transporte.

La demanda de transporte

- El transporte es un servicio raramente demandado por sus propias características.
- Es usualmente derivado de alguna otra función o necesidad
- Se ve al transporte como un medio para mover personas o cosas

Factores de la Demanda de Transporte

Entre las razones por las que la demanda será más o menos intensa en unas regiones o lugares, o en unos momentos más que en otros, destacan principalmente:

- El nivel socioeconómico del usuario, pues al tener más ingresos hay más posibilidades de comprar vehículos o realizar viajes, se tienen más compromisos y actividad económica y social;**
- El nivel de precio del transporte (tarifa), pues existe un nivel máximo que cada usuario está dispuesto a pagar;**
- Los niveles de precio y disponibilidad de los bienes y servicios sustitutos;**
- La calidad del servicio que, en general, este ofreciendo la empresa prestataria**

La Curva de Demanda de Transporte.

Una curva de demanda grafica la relación entre el precio de un bien o servicio y la cantidad demandada en el mercado para un par de puntos (origen y destino), para un específico tiempo en el día y para un propósito en particular. Dicha función de demanda es útil para predecir los viajes sobre un amplio rango de condiciones.

De manera funcional, una función de demanda lineal puede expresarse como: $Q(p) = a - bp$

Donde Q es la cantidad demandada del servicio, p es el precio del servicio y a y b son parámetros constantes.

El Costo Generalizado de Viaje.

El precio considerado en la demanda de transporte comprende todos los costos percibidos por el viajero en un viaje determinado.

El precio o costo generalizado de viaje:

$$CG = a_0 + p + \sum_i a_i q_i$$

CG= Costo Generalizado del viaje

p = Costo monetario del viaje (tarifa)

q_i = Tiempo de viaje dividido entre varios componentes

a_i = es el valor del tiempo asociado con el componente del tiempo i

a_0 = es el componente residual del costo de hacer un viaje el cual no es función del costo monetario o del tiempo involucrado sino un costo asociado por hacer uso de un particular modo: este es frecuentemente referido como costo de modo específico o componente de esfuerzo residual

Factores que Determinan la Demanda de Transporte.

- **Características físicas.**
- **El precio.**
- **Los precios relativos de los diferentes modos de transporte o de los diferentes operadores de un servicio de transporte similar.**
- **Ingreso del pasajero.**
- **Velocidad del servicio.**
- **Calidad del servicio:**
 - **Frecuencia del servicio**
 - **Comodidad**
 - **Confiabilidad**
 - **Seguridad**

Patrones de Demanda no Influenciados por los Operadores del Servicio.

- **Demanda en periodos de máxima demanda**
 - **Tiempo del día**
 - **Día de la semana**
 - **Estaciones de mayor demanda**
- **Cambios en los hábitos sociales**
- **Cambios en los precios y calidades de servicio de los competidores**
- **Cambios en la distribución de la población**

La oferta de transporte.

- La función de oferta o función de servicio representa la cantidad de servicios que un operador desea ofrecer a un precio determinado, por ejemplo, el número de asientos ofrecidos a una determinada tarifa.
- Una curva de oferta grafica la relación entre el precio de un bien o servicio y la cantidad ofrecida en el mercado.

Factores que determinan la oferta.

- El precio.
- El precio de los insumos
- La tecnología utilizada

La fuente de la oferta de transporte.

Los servicios de transporte pueden ser ofrecidos por:

- Los gobiernos: en el ámbito nacional, regional o local;
- Empresas privadas relacionadas con la prestación de servicios de transporte;
- Individuos (automóviles).

Problemas que enfrentan los operadores de servicios de transporte.

- El producto de transporte no puede ser almacenado; este debe ser ofrecido cuando se requiere y consumido inmediatamente.
- Puede existir una sobre oferta en los valles de demanda (demanda variable en el tiempo y el espacio).
- Competencia excesiva en el mercado.
- Indivisibilidad de la oferta.