

# INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO



TREINTA PUNTOS  
CLAVE PARA ENTENDER  
LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE

M.EN I. BENITO SÁNCHEZ LARA

**UCM**  
Universidad de la Ciudad de México  
Nada humano me es ajeno  
Organismo Público Descentralizado

  
GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL  
México, la Ciudad de la Esperanza

Cuadernos de Divulgación No. 1

Maestro en I. Benito Sánchez Lara

---

Introducción a la Ingeniería e Sistemas de  
Transporte Urbano



# **INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA E SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO**

## **Treinta puntos clave para entender los sistemas de transporte**

El propósito de estas notas es introducir al lector e el campo de los sistemas de transporte. Sin embargo, particularmente están dirigidas a aquellos estudiantes que inician una carrera relacionada con transporte.

Las notas están enfocadas, hacia el análisis de las características de los sistemas de transporte y la definición de los componentes principales de dichos sistemas. A partir de un ejemplo simple se establecen treinta puntos clave de los sistemas de transporte, esenciales para comprender su funcionamiento.

El enfoque de estas notas es general y relevante para entender cualquier modo de transporte en cualquier contexto geográfico. Específicamente, presento una estructura básica con el objeto de reflexionar acerca del transporte como sistema.

Maestro en I. Benito Sánchez Lara

## **CONTENIDO**

### **SECCIÓN I**

Las dimensiones del transporte

Los sistemas de transporte: sistemas complejos, integrados, grandes y abiertos

Elementos esenciales de sistema de transporte

### **SECCIÓN II**

Componentes de los sistemas de transporte: una perspectiva interna

### **SECCIÓN III**

Componentes de los sistemas de transporte: una perspectiva externa

### **SECCIÓN IV**

Sistemas de transporte: puntos -10

Configuración del sistema de elevadores

Ciclo del elevador

### **SECCIÓN V**

Sistemas de transporte: puntos 11-17

### **SECCIÓN VI**

Sistemas de transporte: puntos 18-24

Mecanismos para lograr el equilibrio oferta demanda

Incrementos temporales de demanda (horas pico)

### **SECCIÓN VII**

Sistemas de transporte: puntos 25-30

Midiendo el desempeño de los Sistemas de Transporte

### **REFERENCIAS**

## **SECCIÓN I**

### **DIMENSIONES DEL TRANSPORTE**

El transporte es un sistema multidimensional: sin embargo, es útil pensar en este desde tres perspectivas diferentes:

1. Tecnología
2. Sistemas
3. Instituciones

#### **Tecnología**

La dimensión de tecnología se refiere a la propulsión, a los combustibles, a la infraestructura vial (por ejemplo, calles y carreteras), así como a los sistemas de control y guía. Además, se consideran los materiales y la forma en que estos son utilizados para desarrollar la infraestructura vial.

#### **Sistemas**

La segunda dimensión son los sistemas. En esta dimensión se debe centrar la atención en el análisis de redes de transporte y en la interacción entre la oferta y la demanda para producir flujos sobre las redes de transporte.

#### **Instituciones**

En esta dimensión, el enfoque es pensar en cómo las personas, de forma programática, obtienen recursos y se benefician de los sistemas reales de transporte. La operación de los sistemas de transporte no ocurre en función del sistema en sí mismo, sino con la participación de las organizaciones que trabajan en un ambiente social, política y económicamente complejo.

#### **Los sistemas de transporte: sistemas complejos, integrados, grandes y abiertos**

El transporte es un ejemplo de un sistema multidimensional: complejo, grande. Integrado y abierto.

Es complejo porque está constituido por unidades interrelacionadas (subsistemas), que son, por su propia naturaleza, poco conocidas. Las escalas de tiempo de los subsistemas pueden ser muy diferentes (por ejemplo, en el cambio del uso del suelo, en las decisiones de operación, en las políticas de regulación, etc.)

Es grande por su magnitud temporal y geográfica.

Es integrado porque sus subsistemas y los sistemas adjuntos están estrechamente acoplados por medio de la retroalimentación. Es decir, cuando un sistema cambia, los otros reciben nueva información con la que llevarán a cabo modificaciones de adaptación.

Es abierto porque explícitamente incluye aspectos sociales, políticos y económicos.

## **Elementos esenciales de un sistema de transporte**

La ciencia del transporte reconoce que todos los sistemas de transporte tienen los mismos elementos esenciales vehículos, vías y terminales - que operan por medio de un sistema de control.

- Los vehículos son recursos móviles del transporte.
- Las vías son recursos fijos que definen rutas factibles de viaje y proveen la infraestructura que utilizan los vehículos.
- Las terminales son recursos ubicados discretamente, que ofrecen a vehículos, personas y objetos la capacidad de entrar y salir de las rutas.
- Los sistemas de control son las reglas, las regulaciones y los algoritmos que determinan movimientos y trayectorias en los sistemas de transporte.

Considerando lo anterior, podemos señalar que los sistemas de transporte no sólo se presentan en lo creado por el hombre sino también en la naturaleza: la circulación de la sangre, la migración de las aves, los flujos atmosféricos y fluviales, la refracción de luz, las órbitas de cuerpos celestes, etc. Algunos de estos fenómenos, definidos como sistemas de transporte, no cuentan con vehículos, sin embargo, si es posible identificar los otros tres elementos. Así, en la circulación de la sangre las vías son las venas y arterias, la terminal es el corazón y el sistema de control es el sistema nervioso que regula el número de contracciones y expansiones del corazón; además, en la migración de las aves, las vías son las rutas de migración, la terminal o terminales son los destinos de migración y como sistema de control pueden considerarse a las condiciones atmosféricas que regulan la velocidad de migración. Para que los fenómenos anteriores fueran considerados sistemas de transporte completos tendríamos que asumir que la sangre y las aves actúan como vehículos.

## **SECCIÓN II**

### **COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE: UNA PERSPECTIVA INTERNA**

Los componentes físicos, básicos e internos de un sistema de transporte son los siguientes:

#### **1. Infraestructura**

De este componente se desprenden tres categorías:

Redes de transporte: carreteras, vialidades, vías, etc.

Las terminales son sistemas que tienen como función el despacho de vehículos, la regulación de entradas y salidas de vehículos, pasajeros y carga. Asimismo pueden cumplir la función de almacenamiento. Adicionalmente, las terminales sirven como puntos de intercambio intermodal, es decir, como lugares donde la gente puede cambiar su medio de transporte. Por ejemplo, en una terminal del metro una persona puede tomar un taxi, camión u otro modo de transporte.

Una estación es el espacio físico donde la gente puede entrar o salir de una red de transporte, y sirve para regular el tránsito. De este modo, al viajar en el metro uno puede entrar o salir de la red en cada estación.

#### **2. Vehículos**

Los vehículos existen en la mayoría de los sistemas de transporte. Por ejemplo, no hay vehículos en los sistemas de tuberías. A diferencia de las vías de transporte, las estaciones y las terminales, que son porciones fijas del sistema, los vehículos son componentes que se mueven.

Existe un gran número de vehículos: automóviles, camionetas, locomotoras, aviones, etc. El peso y la durabilidad de un vehículo dependen del material con el cual está hecho. Considerando lo anterior, existe una relación entre eficiencia (vehículos más pesados requieren mayor energía para moverse) y seguridad (vehículos más ligeros resultan más dañados en un choque).

Cada tipo de vehículo requiere su propia forma de propulsión. Hay un número de vehículos, en varios modos de transporte, que no pueden moverse con su propia fuerza de propulsión. Los carros de carga en la industria ferroviaria, por ejemplo, tienen que ser movidos por una locomotora. Los contenedores en la industria camionera deben ser jalados por un tracto camión. Así, podemos hablar de vehículos de propulsión y vehículos sin propulsión como una forma de distinguir a diferentes tipos de vehículo.

#### **3. Equipamiento**

Equipamiento puede ser considerado como la maquinaria que opera para facilitar la actividad del transporte. Por ejemplo, una grúa que en una terminal intermodal toma un contenedor de la plataforma de un camión y la coloca en un contenedor de un barco. Otro ejemplo puede ser el equipo para la reparación de vías férreas. El equipamiento para el manejo de equipaje en un aeropuerto es esencial para llevar a cabo la función de transporte de pasajeros. Otro ejemplo de equipamiento

incluye el servicio de almacenaje de combustible y el equipo de remoción de obstáculos (nieve, tierra, piedras, etc.) de las carreteras.

#### **4. Sistemas de Potencia**

Los sistemas de potencia incluyen los motores eléctricos que impulsan a los vehículos. La combustión interna y los motores diesel son ejemplos de los comúnmente llamados sistemas de potencia. Los sistemas de potencia usualmente restringen la velocidad máxima y la aceleración posible. Algunos sistemas de potencia son regenerativas, es decir la energía expandida es recapturada para su uso posterior. La fuerza motora del cuerpo humano usada para montar en bicicleta o para caminar es otra forma de sistema de potencia. La fuerza animal es todavía un sistema de potencia ampliamente usado en los países en desarrollo. La fuerza del viento, usada por los barcos de vela, es un sistema de importancia histórica y es usado aún, aunque generalmente para propósitos recreativos.

#### **5. Combustible**

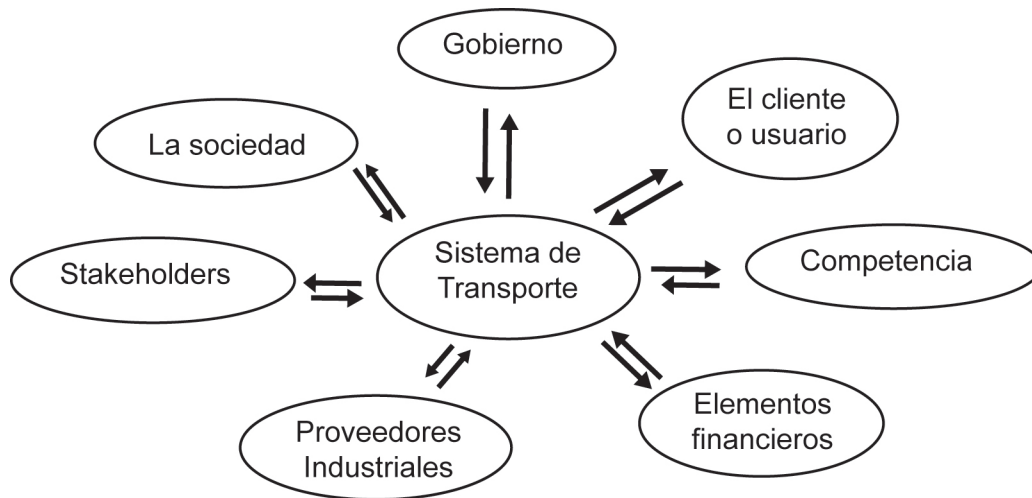
El combustible es otro componente de los sistemas de transportación. Algunos combustibles son: gasolina, gas natural, diesel, etanol, metanol, carbón, etc. El costo y la eficiencia de los combustibles son de gran interés: el impacto ambiental de los sistemas de transporte está estrechamente ligado al tipo de combustible que se usa. Otros factores que tienen impacto ambiental son: las partículas suspendidas, el ruido, la construcción y operación de vialidades, los residuos generados por el mantenimiento de los vehículos, etc.

El motor de combustión interna es el corazón y alma de la industria automotriz mundial. Estos motores operados con gasolina son usados en un altísimo porcentaje de los vehículos.

### SECCIÓN III

#### COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE: UNA PERSPECTIVA EXTERNA

En general, es posible considerar que los componentes externos de un sistema de transporte son los señalados en la figura siguiente:



#### Gobierno

Si el sistema de transporte al que nos referimos se trata de una empresa privada, de alguna manera, e gobierno es un “socio”. En este sentido, solo habrá que recordar que las carreteras son sistemas operados por el gobierno y que son parte fundamental de los sistemas de transporte. Además, entre u a de las funciones del gobierno está la regularización del transporte, esto para evitar disfunciones tales como los monopolios.

#### Competencia

Este factor está relacionado con aquellas acciones encaminadas a observar el contexto como un sistema que restringe o impulsa el desempeño de un sistema de transporte. En este contexto, no habrá que referirse a la competencia directa sino también a aquella indirecta. Por ejemplo, obsérvese que formas de comunicación tales como: Internet o el teléfono reducen a necesidad de transportarse constituyéndose así como competencia indirecta de los modos de transporte.

#### Elementos financieros

Este elemento implica el marco financiero en el cual los sistemas de transporte se incluyen. Esto toma relevancia si consideramos que el crédito para el apoyo de las empresas de transporte puede provenir de instituciones crediticias, a saber, bancos y operadores financieros. En este sentido, también habrá que señalar que las empresas de transporte, públicas y privadas, evalúan sus actividades financieramente, poniendo énfasis el balance costo –beneficio producto de sus operaciones.

## **Proveedores industriales**

Se refiere a las empresas que funcionan como proveedoras de servicios directa o indirectamente relacionados con el transporte. La relación entre la salud financiera del mundo desarrollado y la industria automotriz es notable. Algunas industrias proveedoras son:

1. Empresas ensambladoras de automóviles.
2. Empresas energéticas.
3. Empresas llanteras
4. Empresas de seguridad.

## **Stakeholders (involucrados)**

Son todos aquellos involucrados (internos y externos) en los sistemas de transporte, por ejemplo, los involucrados en el impacto ecológico del transporte, los involucrados en el desarrollo tecnológico, los involucrados en problemas de desarrollo urbano provocados por el transporte, etc.

## **La sociedad**

Es decir, el principal involucrado de los sistemas de transporte. Se relaciona además con el desarrollo económico, la calidad de vida, la defensa nacional, es decir, temas de Interés para el público en general.

## **El cliente o usuario**

Este es el elemento más importante de los sistemas de transporte. Es el consumidor final de los servicios de transporte que una empresa ofrece.

## SECCIÓN IV

### LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE: PUNTOS 1-1 D

Para ilustrar algunos aspectos clave de los sistemas de transporte se utilizará como símil un sistema de elevadores que aunque menos complejo también es un sistema de transporte.

Configuración del sistema de elevadores

Considere un edificio de oficinas con 60 pisos y tres elevadores configurados de tal manera que realizan un recorrido desde el primer hasta el último piso. Véase la figura 1.

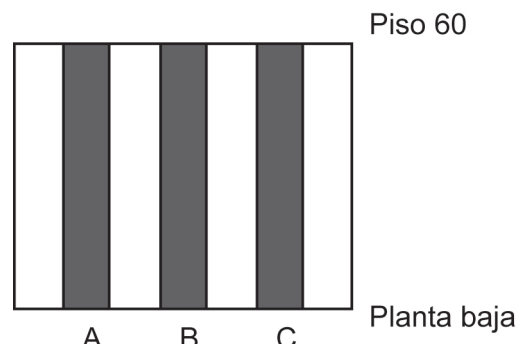


Figura 1

¿Cómo opera el sistema de elevadores? La forma más obvia de operación de este sistema es simplemente proveer el servicio de todos los elevadores a todos los pisos es decir, desde el piso uno al número 60. Considerando al pasajero potencial, éste esperará en la sala de espera y podrá abordar cualquiera de los tres elevadores para subir a cualquier piso.

Bajo la operación del sistema de elevadores mencionada anteriormente, el sistema de transporte se convierte en un sistema secuencial, es decir, si un pasajero  $x$  que aborda el elevador en el piso uno y quiere bajar en el piso 15 y otro pasajero  $y$  lo quiere hacer en el piso 10, el pasajero  $x$  tendrá que esperar el tiempo que tarda  $y$  en descender del elevador en el piso 10. Considerando la naturaleza secuencial de este particular sistema de transporte se infiere que esta naturaleza tiene efecto en el nivel de servicio del sistema de transporte. Así, el nivel de servicio es función de la naturaleza secuencial del sistema de transporte.

$$\text{Nivel de servicio} = f(\text{naturaleza secuencial del sistema})$$

### Ciclo del elevador

Uno de los elevadores se encuentra en el primer piso esperando pasajeros y es “llamado” en algún otro piso más arriba<sup>1</sup>. Además, asuma que el elevador está controlado centralmente por un sistema que le ordena acudir a un llamado. El sistema de control puede operar en función de diferentes variables, por ejemplo: el tiempo, el peso de los pasajeros, etc. Este nivel de direccionalidad dependerá de que tan sofisticado sea el sistema de control. Considerando que se hizo un llamado al elevador, éste acudirá al piso más arriba en el que hizo la llamada dejando a su paso pasajeros en

<sup>1</sup> Se considera una llamada al hecho de que un pasajero oprima un botón que haga que el elevador le preste el servicio.

pisos más abajo. Si el sistema de control lo permite el elevador (después de llegar al piso 15) podrá seguir a pisos más arriba o regresar por pasajeros al primer piso. Considerando las operaciones anteriores podemos decir que el elevador sigue un ciclo secuencial, a este ciclo podríamos llamarlo *ciclo del elevador*.

Con los antecedentes podemos dar inicio a describir cada uno de los puntos considerados clave para explicar los sistemas de transporte.

*Punto clave 1: Las personas y las organizaciones alteran su comportamiento basándose en sus expectativas sobre los sistemas de transporte.*

Suponga que está llegando a la sala de espera del primer piso y observa que el elevador está apunto de dejar ese piso. Si usted sabe que el tiempo entre la llegada de un elevador y otro es corto, posiblemente lo dejará ir, si sabe que tardará para regresar usted incluso gritará a la gente abordo para que detenga el ascenso del elevador.

Lo anterior ilustra el hecho de que muchas ocasiones no nos preocupamos por el tiempo de servicio para el uso del elevador (tiempo del elevador) porque este es pequeño comparado con el tiempo total de viaje. Este es un ejemplo de cómo el comportamiento del “cliente” de un sistema de transporte puede ser afectado.

En otros sistemas de transporte, como el transporte de autobuses, este fenómeno de cambio de comportamiento puede ser más notorio. Por ejemplo, considere que usted conoce el lugar y la hora en la que en su ruta de viaje hacia el trabajo sistemáticamente se presentan problemas de tráfico, con este conocimiento, usted puede cambiar el horario de salida de casa, la hora de levantarse o incluso, si los problemas de tráfico son muchos, puede cambiar de trabajo.

*Punto clave 2: Un servicio de transportación es parte de un sistema más amplio; económico, social y político.*

Considere la situación descrita en el primer párrafo del punto anterior, si las personas que ya habían abordado el elevador lo detienen, esta acción incrementaría los problemas de servicio para los usuarios que están esperando en los pisos superiores. En este caso el nivel de servicio dependerá de quién está viajando en el elevador y que propósitos lo llevan a hacerla. Este ejemplo señala que un sistema de transporte es parte de un sistema más amplio, considere, por ejemplo, que alguien realiza el viaje para hacer una en revista de trabajo o para prestar un servicio que en poco tiene que ver con la operación del elevador.

Nuevamente en otros sistemas de transporte, como el transporte de autos, este fenómeno puede ser más notorio. Por ejemplo, considere que usted se ve implicado en un accidente de tránsito en el que una persona resulta lesionada, claramente este problema podría denominarse como un problema de tránsito, pero además tiene sus implicaciones en el campo de la salud pública y en el judicial.

*Punto 3: La competencia (o su ausencia) para atraer clientes es un elemento determinante de la calidad de los servicios de transporte.*

Que todos los elevadores den servicio a todos los pisos señala una forma bastante pobre de operar el sistema. En este caso podríamos decir que el nivel de servicio es bajo. Esto ocurre básicamente

porque no existe una opción real alternativa para ir del primer piso a cualquier piso superior –a menos que subamos por las escaleras– en otras palabras podríamos decir que no existe competencia. Sin competencia al usuario o cliente no le queda otra alternativa más que hacer uso del sistema existente. En consecuencia no existe referencia, por lo que el nivel de servicio es difícilmente medible.

El hecho de que no existan alternativas, en no pocas ocasiones, lleva al prestador de un servicio sin competencia a actuar de manera tal que descuida a sus clientes, lo cual actúa en detrimento del nivel de servicio que presta.

La pobreza en el nivel de servicio tiene consecuencias ligadas con la falta de competencia y con el volumen transportado, por ejemplo:

- 1. Más paradas.** Si quisiera viajar hasta el último piso quizá no estaría solo y habrá muchas más paradas en el trayecto, el número de paradas dependerá de la demanda del elevador.
- 2. Confortabilidad vs volumen.** En general, la confortabilidad de las personas se ve afectada por el volumen de personas que transporta el elevador. Puede incluso suceder que esperando el elevador este pare pero no sea posible que usted aborde por haber llegado a su máxima capacidad.
- 3. El tiempo de viaje se incrementa cuando el elevador permanece parado.** Por ejemplo, si una persona pretende bajar en un piso determinado pero permanece en la parte de atrás del elevador hasta que el elevador para, el elevador permanecerá más tiempo en espera.

*Punto clave 4: Analizar el flujo de vehículos en una red de transporte y definir y medir su ciclo es un elemento básico del análisis de los sistemas de transporte.*

Considerando poco operativa la configuración inicial del sistema de elevadores cabría hacerse la siguiente pregunta: ¿existe otra forma más inteligente de operar el sistema de elevadores? dando respuesta a esta pregunta, es posible que todos los elevadores esperen en el primer piso pero que el elevador A preste el servicio solo entre los pisos 1 y 20, el elevador B preste el servicio entre los pisos 20 y 40 y el elevador C preste el servicio entre los pisos 40 y 60. Véase figura 2.

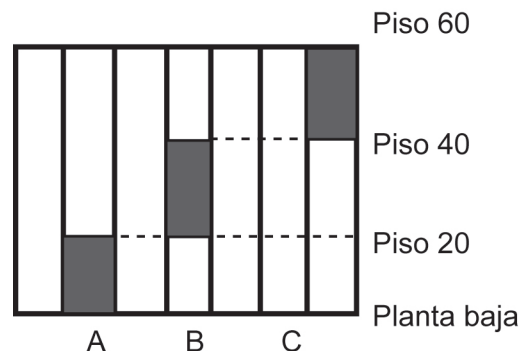


Figura 2

Considere la anterior configuración de operación, ¿a quien cree que no le gustaría este tipo de operación? Suponga que una persona está en el piso 53 y se dirige al piso 22, esta persona tendrá que parar en el piso 40 y abordar el elevador B o incluso podría optar por bajar hasta el primer piso

y subir nuevamente. Este comportamiento es un ejemplo de una ruta redundante. Ahora suponga que usted labora en el piso 15 y es la hora de salida, usted solo tiene una opción, bajar usando el elevador A

Las configuraciones representadas en las figuras 1 y 2 tienen diferentes implicaciones por ejemplo: el tiempo de elevador cambiará de acuerdo a la configuración de operación, de la misma manera lo hará el número de pasajeros y Qué tan rápido se mueven éstos, así mismo cambiará la productividad de la inversión fija.

La descripción anterior ilustra un ciclo denominado ciclo vehicular. Todos los vehículos –sean elevadores, carros de carga, aviones, autobuses, barcos, etc. – son la parte fundamental y en ocasiones mas costosa de los sistemas de transporte, conservar este activo productivo es clave. De igual manera analizar dicho ciclo vehicular nos lleva, tanto a entender su comportamiento como a tomar medidas para mejorarlo.

*Punto clave 5: Las líneas de espera (colas) son fenómenos recurrentes en los sistemas de transporte.*

En los sistemas de transporte cuando la demanda excede a la capacidad se presenta el fenómeno llamado líneas de espera o colas. Las líneas de espera pueden ser de dos tipos, de acuerdo a quien forma la línea. Comúnmente se denomina cola a la línea de espera donde intervienen pasajeros. Cuando intervienen vehículos se denominan líneas de almacenamiento.

Considere el caso del sistema de elevadores, si usted espera por cualquiera de ellos para poder subir a un piso determinado usted esta formando parte de una cola. El caso de las líneas de almacenamiento es más fácil de ejemplificar si considera una base de taxis. Cuando la demanda es baja en la base de taxis los vehículos forman líneas de espera llamadas líneas de almacenamiento.

En transporte, el fenómeno de líneas de espera adquiere relevancia cuando estudiamos el porqué se forman, cuál es su comportamiento en el tiempo, que ampliaciones tienen, cómo evitarlas, etc.

*Punto Clave 6: Los agentes de transferencia intermodal e intermodal son determinantes clave del costo y la calidad de un servicio.*

Un agente de transferencia es todo aquel elemento que actúa entre los sistemas de transporte o en el sistema mismo para hacer eficiente su operación. Ahora bien, en no pocas ocasiones los agentes de transferencia actúan como obstáculos. Por ejemplo, considere el caso del sistema de elevadores, el cambio de modo de transporte CAMINAR al modo de transporte ELEVADOR implica un tiempo de espera que puede hacer ineficientes los resultados de la actividad de transporte.

Quizá un ejemplo mas claro de esto sea el siguiente. Suponga que usted viaja en el metro y que su destino es una terminal de auto uses en la que pretende abordar un autobús, el cambio de modo METRO al modo AUTOBÚS implica diferentes agentes de transferencia, por ejemplo: torniquetes, taquillas, horarios de salida, etc. Estos agentes a la vez que establecen un orden en el cambio modal pueden ocasionar ineficiencias entre los modos de transporte.

*Punto clave 7: Las políticas de operación afectan el nivel de servicio.*

Una causa común de ineficiencia en los sistemas de transporte son las políticas de operación, esto por su relación con el nivel de servicio. Por ejemplo, bajo la primera política de operación (véase

figura 1) el elevador irá hasta el último piso y esperara ahí hasta que alguien lo requiera antes de bajar, esto hará esperar demasiado a quien esta en los primeros pisos esperando por el servicio.

¿Qué hacer para cuando el elevador está en el ultimo piso o en la parte final de su ciclo?

Una estrategia de operación puede ser que cuando llegue al último piso automáticamente baje y recoja a s paso a cualquier pasajero en su recorrido. Otra estrategia puede ser que espere por un periodo corto –quizá 15 Ó 20 segundos– y baje automáticamente.

Si usted está en el primer piso y entra al elevador, y si este está programado para esperar un minuto y medio bajo cualquier circunstancia, esta forma de operación será una desventaja para usted como usuario.

Obviamente, en sistemas de transporte más complejos que el sistema de elevadores los sistemas de operación deberán ser más complejos también.

La figura 3 ilustra una política de operación basada en el peso de los pasajeros. Suponga que está esperando el elevador en la sala de espera del primer piso, para que el elevador suba inmediatamente se requiere que el número de pasajeros sea de 12, si después de 5 minutos el numero de pasajeros es de 6 subirá Esta política de operación tiene muchas y diversas implicaciones en el nivel de servicio. Por ejemplo, habrá que preguntarse: ¿cuánto tiempo tendrá que esperar la primera persona para subir o bajar?, ¿cómo afectará la espera a esta persona, en su productividad, relación laboral, relación personal, etc.? E incluso ¿que esquema de mantenimiento se adecua a la política de mantenimiento?

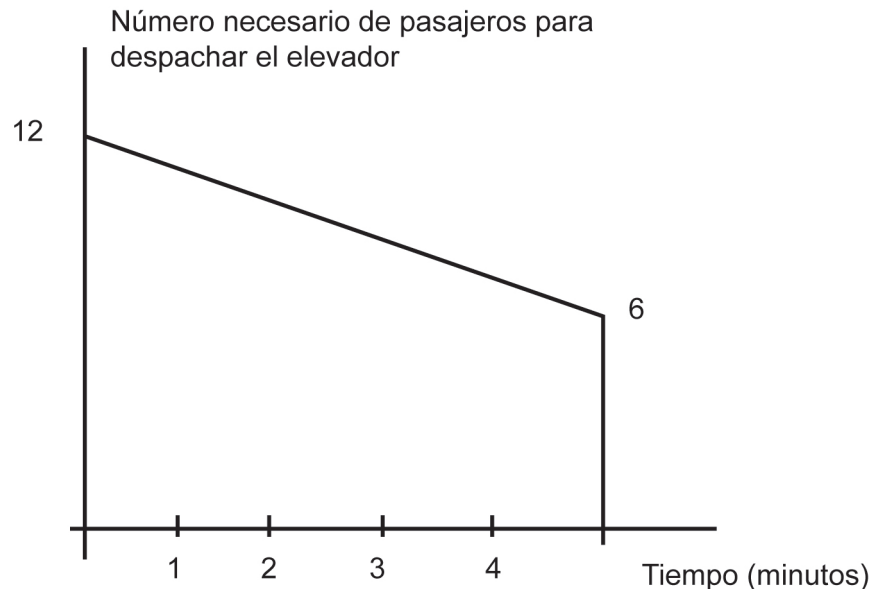


Figura 3

*Punto clave 8: La capacidad es una característica de los sistema de transporte afectada por: infraestructura~ vehículos, tecnología jornadas de trabajo factores institucionales, políticas de operación factores externos (condiciones del aire. seguridad: regulación. etc.)*

La infraestructura, los vehículos, la tecnología, las jornadas de trabajo, los factores institucionales, las políticas de operación, los factores externos son elementos que determinan la capacidad de un

sistema de transporte. Considerando el primer factor~ señalemos la posibilidad de aumentar la capacidad de un sistema dado sumando o incrementando infraestructura. En el caso del sistema de elevadores su capacidad aumentaría si aumentamos el número de elevadores disponible. Además, es posible hacer cambios tecnológicos incrementando su velocidad o aumentando el espacio disponible, o quizá mejorando los sistemas o algoritmos de control. El cambio de jornadas de trabajo se ha venido postulando recientemente como un factor útil para aumentar la capacidad de los sistemas de transporte. Sólo habrá que pensar en “horarios flexibles” de las fuentes de empleo, que impliquen atenuar la demanda de transporte y los flujos de tráfico.

*Punto clave 9: El nivel de servicio es una función del volumen o abastecimiento del servicio de transporte. En tanto el volumen se acerca a la capacidad, el nivel de servicio se deteriora dramáticamente.*

En muchos sistemas de transporte existe una estrecha relación entre el nivel de servicio provisto y la fracción de la capacidad que está siendo ocupada por un volumen dado. Específicamente, el nivel de servicio se deteriora dramáticamente en tanto el volumen se acerca a la capacidad del sistema. Véase figura 4.

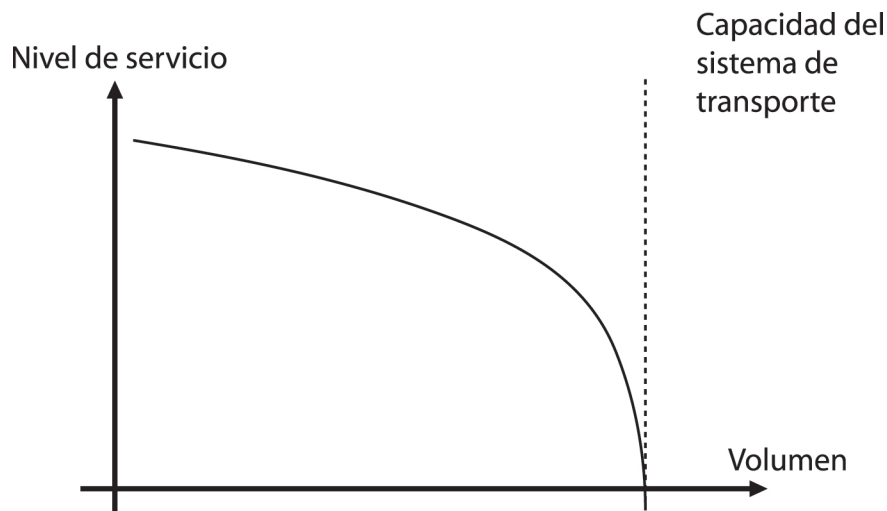


Figura 4

La relación mencionada se denomina: relación de aprovisionamiento de transporte haciendo referencia a la función también ya mencionada:

$$\text{Nivel de servicio} = f(\text{volumen})$$

Para ejemplificar la relación consideremos el caso del sistema de elevadores, si la capacidad máxima del elevador es de 12 personas y en un recorrido el volumen se va incrementando conforme los pasajeros suben al elevador, el nivel de servicio se deteriora en tanto el volumen se acerca a la capacidad máxima del elevador. El incremento continuo en el número de personas implica menor espacio, menor confortabilidad mayor número de roces, etc. lo que reduce el nivel de servicio.

*Punto clave 10: La disponibilidad de información (o su falta) conduce la operación del sistema, la inversión y las decisiones de los clientes.*

En el caso del sistema de elevadores podríamos planteamos la siguiente pregunta: ¿Qué sabe y qué no sabe el sistema de control acerca de los elevadores? algunas respuestas son:

<b>SABEMOS</b>	<b>NO SABEMOS</b>
¿Dónde están los elevadores?	¿Qué tan cerca está el elevador de su capacidad máxima?
¿Cuál es la demanda (en término de "llamados") del servicio?	¿Cuál será la demanda futura?
¿Hacia donde quieren ir los pasajeros (los pisos de los cuales se "llamó")?	¿Cuántas personas están esperando el servicio?
¿Dónde pararán los elevadores?	El periodo del día qJ8 transcurre (hora pico u hora no pico)

Considerando lo que sabe y no sabe el sistema de control de elevadores podríamos hacer el siguiente señalamiento: entre mayor sea la información que procesa el sistema de control que opera el elevador este será más eficiente. Sin embargo este señalamiento tiene sus implicaciones reflejadas en las siguientes preguntas:

1. ¿podemos usar o hacer uso más efectivo de la información?
2. ¿cómo usar la información para mejorar las estrategias de control del sistema de elevadores?
3. ¿los algoritmos o sistemas de control pueden operarse en tiempo real?

En este punto es importante recalcar la importancia que tienen los sistemas de Información en la operación de los sistemas de transporte. Especialmente los llamados Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS por sus siglas en inglés, Intelligent Transportation Systems) utilizados para transmitir y recibir información en tiempo real acerca de un sistema de transporte. Algunos de los elementos del sistema sobre los cuales se estaría interesado en tener información son: congestión, rutas de viaje, condiciones físicas de las rutas, tiempos de recorrido, servicios disponibles, etc.

## SECCIÓN V

### LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE: PUNTOS 11-17

*Punto clave 11: La forma de la infraestructura tiene impacto en el tejido de la estructura geoeconómica.*

En transporte, se puede afirmar que la infraestructura va más allá de la infraestructura física que permite respaldar su operación. Retomando el caso del sistema de elevadores, supongamos que podemos retroceder a la fase de diseño y que el sistema no se está restringido a solo tres elevadores, lo que se quiere es dar servicio a cada piso del edificio. Considerando el antecedente quizá se pueda sugerir construir 60 elevadores, uno para cada piso. Este servicio se llama servicio directo.

El servicio directo es el tipo de servicio más deseable por el cliente pero quizá no sea factible en costo para los inversionistas. Incluso quizá habría que evitar la localización de oficinas en el edificio, es decir, quizá no habría espacio para oficinas después de instalar 60 elevadores.

A partir del ejemplo anterior podría señalarse que la configuración del sistema de elevadores tiene sentido dependiendo de la perspectiva con que se vea. Si se planteara otra posible configuración, 6 pisos uno por cada 10 pisos, se deberá pensar en los costos y beneficios de dicha configuración. Para algunos arquitectos discutir sobre un sistema de elevadores con 60 ó incluso 6 elevadores sería bizarro. Si extrapolamos la situación a un sistema carretero, para un urbanista sería improbable pensar en un servicio directo.

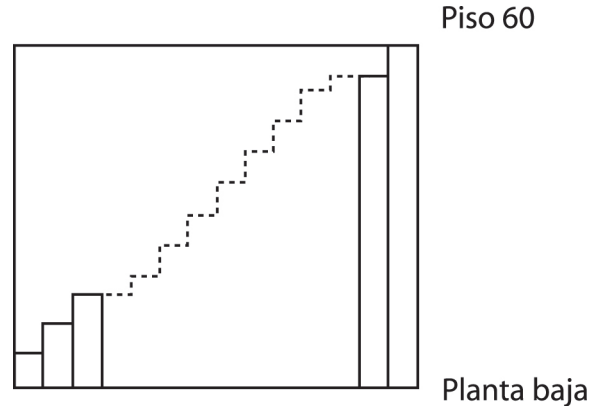


Figura 5

Se podría pensar incluso que una infraestructura carretera vasta excede los montos de inversión permitida y disminuye la funcionalidad y la capacidad de las ciudades.

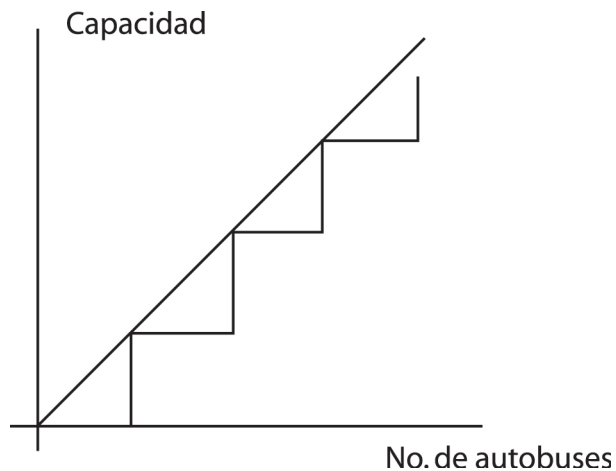


Figura 6

En conclusión, cuando se diseña un sistema de transporte deberá tomarse en cuenta las diferentes perspectivas que respaldan la decisión del monto de la inversión en infraestructura, estas consideraciones además deberán hacerse tratando de inferir el impacto en términos de espacio y dinero por la construcción del sistema de transporte. La figura 6 implica el cambio de la capacidad de un sistema de transporte con el aumento no continuo de vehículos.

*Punto clave 12: El costo por proveer un servicio específico, el precio cargado por ese servicio y el nivel de servicio provisto pueden no ser consistentes.*

Teniendo en consideración que idealmente el servicio directo será el que satisfaga completamente a un cliente y que este tipo de servicio es económicamente inviable, tendrá que buscarse un balance entre un nivel de servicio y una inversión en infraestructura.

En el caso del sistema de elevadores, las personas perciben diferentes niveles de servicio dependiendo del piso al que van y de cómo se opera la infraestructura. Así, en la fase de diseño de todo sistema de transporte debe pensarse acerca de quién o quiénes serán los beneficiarios de este y quiénes jugarán un papel preponderante en el mismo.

Considerando lo anterior, habrá que hallar un balance entre el costo de un servicio dada la inversión en infraestructura, el nivel de servicio deseado por quienes usarán el sistema de transporte y el precio en el que se pondrá a disposición el servicio. La dificultad para hallar éste balance es notoria tomando en cuenta la dificultad de contabilizar los diferentes rubros de inversión que darán como resultado el costo total del sistema y más a detalle el costo unitario de un servicio. Por otra parte, debe considerarse la dificultad que implica las diferentes percepciones de los clientes para definir un nivel de servicio “adecuado” para el sistema de transporte. Aun más, la asignación de un precio dependerá del cálculo del costo unitario y de la asignación de un rubro de utilidad basado probablemente en el nivel de servicio.

*Punto clave 13: El cálculo del costo por proveer un servicio específico es complejo y frecuentemente ambiguo.*

Nuestra habilidad para calcular el costo de un servicio de transporte es limitada. Por ejemplo, suponga dos servicios de ferrocarril, el primero transporta pasajeros y el segundo comestibles, ambos

utilizando la misma vía, una pregunta clave que habría que responder es ¿cómo asignar los costos de mantenimiento para cada uno de los servicios?

El cálculo del costo de mantenimiento es complejo si consideramos que los servicios prestados –de carga y de pasajeros– tienen políticas de operación diferentes, ingresos diferentes y, sobre todo, los niveles de servicio percibidos por el cliente son diferentes. De igual manera, el cálculo puede resultar ambiguo si se considera que los rubros que sumados sean iguales a un costo total pueden ser diferentes. Por ejemplo, si se considera al costo de mantenimiento preventivo como componente de costo de mantenimiento lo total, en el caso del transporte de carga este rubro podría considerarse primordial dado el supuesto mayor desgaste en relación al peso que se transporta. Sin embargo, en el transporte de pasajeros el supuesto para considerar al costo de mantenimiento preventivo como primordial, podría ser el nivel de seguridad requerido para el transporte de personas.

*Punto clave 14: Las negociaciones para definir la relación de equilibrio costo vs nivel de servicio son tensas tanto para el proveedor del servicio como para el cliente, incluso entre ellos.*

Este punto está basado en la relación entre costo y nivel de servicio. Es decir, las negociaciones que se debe llevar a cabo entre las diferentes áreas funcionales dentro de una empresa de transporte pondrán discusión si la empresa debe funcionar como negocio –enfocada principalmente a obtener utilidades– o como un estado a un servicio en la que lo más importante es el cliente. Principalmente dichas discusiones se presentan entre dos áreas funcionales: el área de mercadotecnia y el área operativa.

Para el área de mercadotecnia el motor principal de un negocio es el cliente, con esta premisa, esta área funcional define una política de operación tal que al cliente se le proporcione el “mejor” de los servicios. Sin embargo, esta práctica no siempre es la mejor en términos de costos. Imagínese en el caso del sistema de elevadores, que pensando en el cliente se programara que el elevador subiera y bajara a velocidad máxima, la frecuencia exagerada del servicio haría que los costos de electricidad y mantenimiento fueran tan altos que podrían ser no viables.

Por otra parte para el área de operación y control la relación maximización de operaciones y minimización de costos es crucial en su funcionamiento. Esta visión en no pocas ocasiones se opone a la visión mercadotécnica y provoca el surgimiento de conflictos resueltos sólo a través de la negociación, hallando un balance entre las partes. Frecuentemente, los procesos de negociación no se llevan a cabo adecuadamente y los resultados son empresas de transporte cuyo funcionamiento es sesgado. En general, las empresas impulsan la optimización de sus operaciones sin darle relevancia al nivel de servicio que prestan.

*Punto clave 15: La consolidación de demanda es frecuentemente utilizada como estrategia de minimización de costos.*

La consolidación de la demanda es una estrategia de minimización de costos que implica la coordinación de diferentes “cargas” para integrar una carga mayor. Véase la siguiente figura.

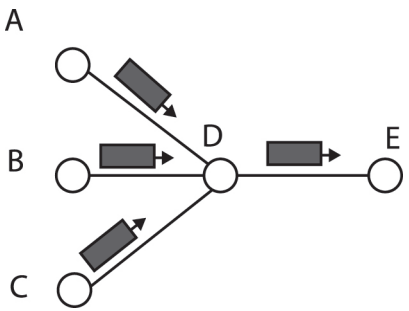


Figura 7

La estrategia de consolidación de la demanda requiere un alto nivel de coordinación entre las diferentes entidades de un sistema de transporte; dicha coordinación es posible al integrar un sistema de información que permita compartir datos de demanda. Esta estrategia, hasta antes del desarrollo de las bases de datos y las telecomunicaciones, era una actividad harto compleja y algunas veces imposible.

La estrategia de consolidación de la demanda es una actividad que aún actualmente se realiza sin el apoyo de sistemas de información, Así, aún hoy las llamadas empresas hombre-camión transportan artículos de un punto a otro sin tener la certeza de si en el viaje de regreso tendrán qué transportar. Si contaran con un sistema de consolidación de la demanda seguramente tendrían programadas (as cargas a transportar en sus recorridos de ida y vuelta.

Sistemas de transporte mas grandes y complejos, como el transporte aéreo y terrestre (de autobuses. particularmente) basan gran parte de su operatividad en la consolidación de la demanda. No es sorprendente que actualmente un vuelo haga algunas escalas o conexiones en su recorrido antes llegar a su destino final, buscando integrar una carga que le permita minimizar costos.

*Punto clave 16: La inversión que se realiza para aumentar la capacidad de un sistema de transporte es frecuentemente no fraccionable o entera.*

Cuando se habla de invertir para aumentar la capacidad de un sistema de transporte debemos considerar que la inversión es una variable continua sino discreta. Si consideramos el ejemplo del sistema de elevadores, podemos señalar que su desempeño cambiara dependiendo del número de elevadores en operación. Entre mayor numero de elevadores estén disponibles el nivel de servicio será mejor. Así, la inversión para aumentar la capacidad de un sistema tendrá que ser aumentado un elevador más para operar, es imposible aumentar 1/2 ó 3/4 de elevador. La función de inversión-capacidad se representa en la siguiente figura:

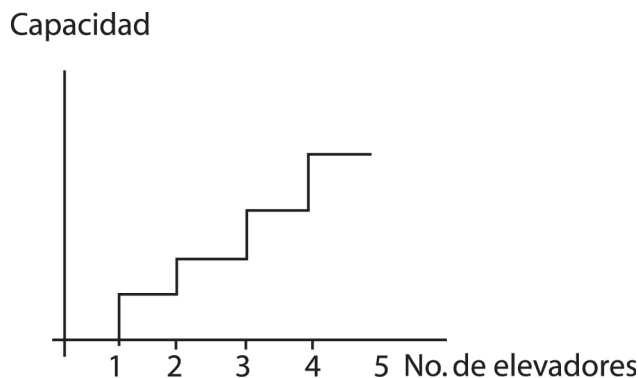


Figura 8

El diseño de un sistema férreo puede ejemplificar de mejor manera la función capacidad-inversión. En un sistema como el férreo una alternativa de operación es tener una sola locomotora que preste el servicio de transporte entre dos puntos de una red. Pero si queremos dar el servicio en ambas direcciones, para aumentar la capacidad, necesariamente tendremos que modificar la operación del tren –doble vía, sistemas de cambio de vía, etc. – o incluso comprar más locomotoras. Cualquiera de estas acciones implica tomar decisiones relacionadas con la inversión.

En este sentido, recientemente con relación al transporte público de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se ha establecido la siguiente polémica que relaciona la función inversión-capacidad, ¿qué incrementaría la capacidad del sistema de transporte público de manera más eficaz: invertir en autobuses con mayor capacidad o incrementar las vialidades?

Ahora bien, hay que aclarar que de acuerdo a los montos y la magnitud puede decirse que una inversión es “más entera” que otra. Es decir, en el caso del sistema de elevadores si se quisiera o requiriera instalar un elevador más, necesariamente habría que construir un sistema por el cual se moviera este, la inversión tendría que implicar la culminación completa del sistema, de nada serviría construir 1/2 sistema. En el caso de una flota de autobuses si se quisiera aumentar la capacidad, el monto de la inversión tendría que ser mucho menor al del ejemplo anterior e incluso no necesariamente tendría que comprarse autobuses, quizá con mantenimiento correctivo sería suficiente.

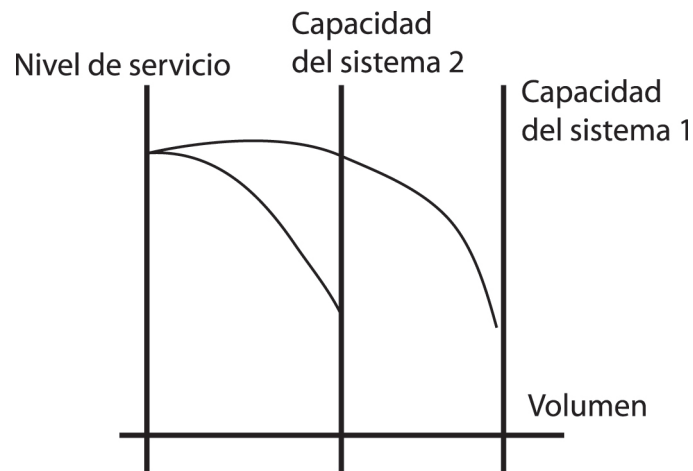
*Punto clave 17: Las relaciones y la consistencia entre capacidad, costo y nivel de servicio son el reto central del diseño de los sistemas de transporte.*

Además de elementos anteriormente mencionados –vehículos, infraestructura y sistemas de control– que afectan la capacidad del sistema de transporte, existen otros tales como: el personal y la aplicación de políticas de operación, que también lo hacen.

Considere el caso del número de personal operativo disponible o necesario en una línea aérea, entre ellos: aquel que vende el boleto, aquel que lo recoge~ el personal de abordaje, el personal de mantenimiento, etc. La forma de organización de dicho personal trae como consecuencia un nivel de efectividad o desempeño que refleja la forma en que cada uno realiza la actividad para la cual fue contratado. Así, si una persona es ineficaz en su ‘trabajo puede afectar la capacidad del sistema: retrasando las operaciones o tomando decisiones desafortunadas. Sin embargo, cabe decir que la afectación más importante relacionada con el personal se da en el nivel de servicio, más que en la capacidad del sistema.

La aplicación de contingencias es otro elemento que afecta la capacidad de los sistemas. Por ejemplo, en algunas ciudades las decisiones de transportación están condicionadas a la calidad del aire, es decir, el funcionamiento, y por lo tanto la capacidad de un sistema, se ve afectado por una ley o reglamento que señala el rango de contaminantes adecuado que permite realizar operaciones de transporte. Un caso específico es el programa –hoy no circula– que de acuerdo al Índice Metropolitano de Contaminación Ambiental (IMECA) establece las acciones que limitan las operaciones de transporte y otras actividades económicas.

Considerando (os párrafos anteriores, una relación que es necesario analizar en los sistemas de transporte es aquella entre el nivel de servicio y el volumen, que inminentemente tiene impacto en la capacidad del sistema y en el costo del mismo. Observe la siguiente figura.



$\Delta$  Capacidad cubierta

Figura 9.

De la figura es posible tener dos conclusiones:

1. El nivel de servicio se deteriora en tanto el volumen se acerca a la capacidad.
2. Si sub-invertimos en capacidad, el nivel de servicio puede no ser competitivo y si sobre-invertimos el nivel de servicio puede ser bueno, pero los costos pueden resultar altos y nuestros precios pueden no ser competitivos.

De las conclusiones es posible observar que las relaciones entre capacidad, costo y nivel de servicio son de suma importancia en la etapa de diseño de los sistemas de transporte.

## SECCIÓN VI

### LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE: PUNTOS 18-24

Punto clave 18: Los picos de demanda temporales son temas clave en la determinación de la capacidad de un sistema de transporte. ¿Qué tan frecuentemente los sistemas de transporte no satisfacen la demanda?

Para abordar el tema presente habrá que introducir un nuevo concepto, este es el concepto de “hora pico” en los sistemas de transporte. Para lo anterior, consideremos el ejemplo del sistema de elevadores y representemos gráficamente el volumen de tránsito en función de la hora del día. Véase la figura 10.

Comenzaremos con el trayecto hacia arriba. Asumiendo que la gente usa el elevador para subir al piso donde labora y que la mayoría lo hacen entre 9 a.m. y 5 p.m., es posible sugerir una relación entre tiempo y volumen, relación que se presenta en un día “típico. Este es la clase de fenómeno observado frecuentemente en otros sistemas de transporte y que esté asociado a la jornada laboral.

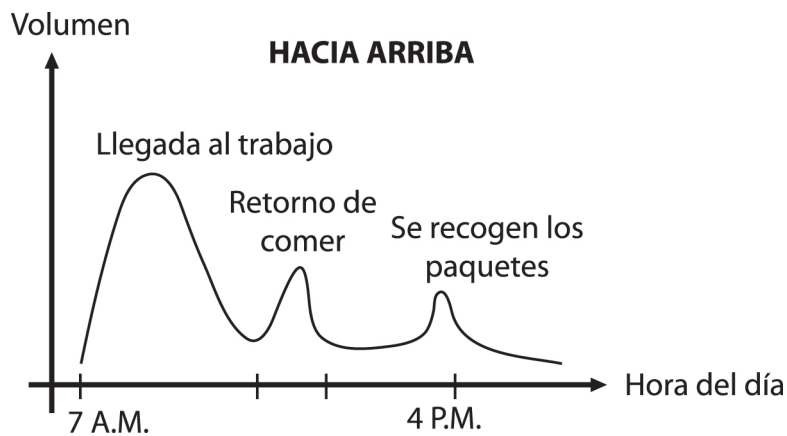


Figura 10

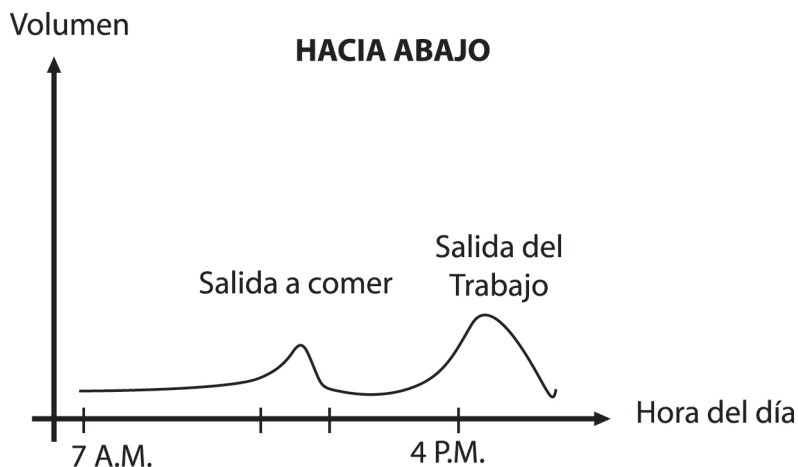


Figura 10 b

Una pregunta clave que debemos hacer, considerándonos los operadores del sistema, es: ¿qué capacidad ofertar?, reconociendo que no tenemos una demanda constante en el tiempo. Es posible tomar una decisión considerando que cubriremos la demanda máxima (Capacidad 1, véase figura 11), Si así lo hiciéramos, el sistema operaría en forma tal que el volumen nunca excederá la capacidad, con este funcionamiento tendremos un alto nivel de servicio pero al mismo tiempo tendremos un sistema de alto costo, porque tendremos que hacer una inversión en capacidad que parecería razonable para cubrir la demanda que se presenta a las 9:00, pero no la que se presenta a la 1:30 de la tarde,

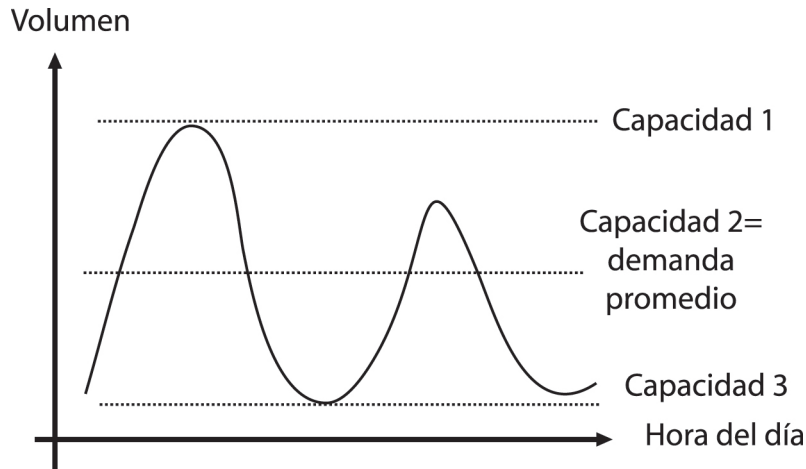


Figura 11

Por otra parte, es posible considerar la demanda mínima (capacidad 3 de la figura). Si así lo hiciéramos, el sistema operaría en forma tal que la mayor parte del tiempo el volumen excederá la capacidad, con este funcionamiento tendremos un bajo nivel de servicio y un sistema de bajo costo.

La inversión en capacidad que parecería razonable para cubrir la demanda en una hora valle no lo sería en una hora pico.

¿Qué debemos hacer? no podemos elegir una baja capacidad tal que el nivel de servicio al cliente durante las horas pico sea inaceptable. Al mismo tiempo, no podemos ofrecer un nivel de servicio tal que nadie tenga que esperar, esta opción es antieconómica.

¿Qué pasaría si consideráramos la demanda promedio? Esta opción es más bondadosa que las anteriores. Bajo esta opción, algunos clientes tendrán que esperar durante las horas pico pero, sin embargo, todos eventualmente recibirán el servicio recobrándose el sistema después de cierto periodo. Sin embargo, en horas valle la capacidad del sistema tendrá periodos ociosos o muertos con altos niveles de servicio. Los señalamientos anteriores implican el hecho de que la distribución de la demanda es temporal.

En términos de costo, al considerar la demanda promedio, tenemos un sistema cuyo costo es intermedio entre la consideración de la demanda máxima y la mínima esto con relación a la infraestructura necesaria.

Ahora, supongamos que el elevador tiene determinada capacidad que provoca que si llega al edificio a las 8:55 a.m. usted arribará al piso 42, donde trabaja con hora de entrada de 9:00 a.m., hasta 9:30 a.m. Después de semanas o incluso menos de reprimendas de su jefe por llegar a esa hora usted seguramente cambiará sus hábitos de llegada para conservar su empleo, quizá llegue 8:30. De lo anterior, se infiere que dependiendo de las circunstancias, usted puede viajar evitando de las horas pico, ya sea antes o después de que se presenten. Sin embargo, en algunas grandes ciudades

las horas pico se extienden virtualmente a lodo el día. El sistema funciona cercano a la capacidad máxima virtualmente todo el tiempo.

*Punto clave 19: Volumen = f(nivel de servicio); demanda de transporte.*

En este punto se establece que el volumen que un sistema de transporte es capaz de atraer es una función del nivel de servicio proporcionado. Si el nivel de servicio se deteriora pocas personas querrán usar el sistema. ¿Que tan pocos? por supuesto, varia de caso a caso. La idea, sin embargo, es que el volumen atraído es función del nivel de servicio ofrecido. Esto es simplemente un concepto de la microeconomía. Por ejemplo, si un cine duplica sus precios, ir al cine se hará menos atractivo, es decir, menos personas irán a él. Una relación entre la demanda y el nivel de servicio ofrecido se muestra en la figura 12. En general, el supuesto básico de esta función es que a la gente le gusta comprar artículos baratos; este es un argumento fundamental de la economía, central en el análisis de la demanda de los servicios de transporte.

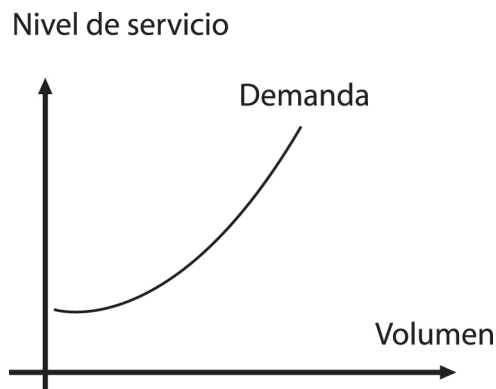


Figura 12

**Punto clave 20:** El nivel de servicio usualmente es multidimensional. Para propósitos de análisis cuantitativo es necesario reducirlo a una sola dimensión, la cual puede llamarse utilidad.

Suponga un viaje entre un punto origen y un punto destino, después de hacer el recorrido ¿qué variables consideraría, como pasajero, para medir el nivel de servicio? Quizá el tiempo de viaje, quizá el tipo de vehículo, la comodidad, la frecuencia de los viajes, el tiempo de espera, el tiempo de acceso, la tarifa o el precio del boleto de viaje. Las anteriores son algunas variables del nivel de servicio, ahora bien, ¿cuáles serian las unidades para medir dichas variables?, la tabla siguiente nos da alguna idea de ello.

	<b>VARIABLES</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Tiempo de viaje</b>	$t_v$	Minutos
<b>Tiempo de acceso</b>	$t_a$	Minutos
<b>Tiempo de espera</b>	$t_e$	Minutos
<b>Tarifa</b>	T	Pesos
<b>Comodidad</b>	C	Número de atenciones prestadas

La idea central en este punto es que las unidades señaladas son diferentes y, sin embargo, para propósitos de análisis es conveniente medir el nivel de servicio en una forma unidimensional. Es decir, requerimos sumar las unidades en una sola, a la cual podemos llamar utilidad (U).

La utilidad de un viajero por la elección de viaje puede estar dada por:

$$U = d_0 + d_1 t_v + d_2 t_a + d_3 t_3 + d_4 T + d_5 C$$

Para que todos los términos tengan las mismas unidades de utilidad ( $u'$ ), debemos seleccionar adecuadamente los coeficientes  $d_0 \dots d_5$ . Por ejemplo, las unidades de  $d_0$  tendrían que ser simplemente [ $u'$ ]; esta es una constante usada para calibrar la ecuación de utilidad,  $d_2$  tendría las unidades [ $u'/\text{minutos}$ ], lo cual mediría cómo las personas valoran su tiempo de viaje, que puede variar de persona a persona. Por ejemplo, las personas que ganan más dinero pueden valorar más su tiempo que aquellas que ganan menos.  $d_2$  tendría las unidades [ $u'/\text{minutos}$ ] al igual que  $d_3$ ,  $d_4$  [ $u'/\text{peso}$ ] y  $d_5$  [ $u'/\text{atenciones}$ ].

Hasta ahora hemos tratado de sumar las unidades de  $d_3$ ; hasta  $d_5$ ; en términos generales la idea es que entre mayor sea el valor de la utilidad la percepción del nivel de servicio será mejor.

Consideremos ahora el signo de cada coeficiente, ¿qué signo deberíamos asignar a  $d_1$ ? Por supuesto, este tendría que ser negativo, más tiempo de viaje es malo para la función de utilidad, a menos de que el pasajero realmente disfrute del viaje y desee estar el mayor tiempo posible en el vehículo. Con un razonamiento similar al primero, también puede adjudicársele a  $d_2$  y  $d_3$  un signo negativo.

En el caso de la comodidad, el coeficiente tendría que ser positivo, a partir de que un mayor número de atenciones, implica un mayor nivel de servicio percibido. Por otra parte, en el caso de la tarifa el coeficiente tendría que ser negativo; entre mayor sea la tarifa, de menor valor será para el pasajero.

En el procedimiento anterior de integración de variables se torna complejo considerando los siguientes puntos:

1. Las variables no son las  $m''$  mas para los pasajeros.
2. para evitar problemas de desacuerdo en el calculo, este tendría que ser individual, es decir, por pasajero.

A pesar de lo anterior, la integración de variables en una sola es un procedimiento frecuentemente necesario para la medición de conceptos multidimensionales.

*Punto clave 21: Los componentes de los diferentes sistemas de transporte y los sistemas externos relevantes operan y cambian en diferentes escalas de tiempo. Por ejemplo, en el corto plazo \_ las políticas de operación: en el mediano plazo \_ la propiedad de los bienes y en el largo plazo la infraestructura, el uso del suelo, etc.*

Pensar en diferentes escalas temporales es condición indispensable en la planeación del transporte. Los cambios para modificar la situación de un sistema de transporte o algunos de sus componentes pueden enmarcarse en periodos, cortos, medianos y largos. La duración del periodo está determinada por la magnitud del cambio y por su impacto. En el siguiente cuadro se muestran algunos cambios enmarcados en periodos diferentes.

Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo
Políticas de operación	Propiedad de los bienes	Infraestructura
Reemplazo de equipamiento	Modificaciones tecnológicas	Uso del suelo
Corrección de fallas menores	Implantación de sistemas de apoyo	Innovaciones tecnológicas

Considere en el ejemplo del elevador, que este provee un algún nivel de servicio particular. Considere, además, que una empresa nueva se muda al edificio al piso 47 y que emplea a 200 empleados. Con esto, la capacidad requerida del elevador para satisfacer las necesidades cambiantes crece. Con 200 empleados seguramente el servicio será peor. ¿Qué supone usted pasaría en el corto plazo?

*La gente empezaría a subir o bajar por las escaleras.*

Esta es una posibilidad, pero en edificios de 60 pisos la elección de modo de transporte es limitada, quizá la gente caminaría los tres primeros pisos, Aún para atletas, sería difícil subir 47 pisos.

Asumiendo que la gente tiene que trabajar en el edificio, aun bajo condiciones adversas de acceso, el volumen, por lo menos en el corto plazo, no cambiará en forma substancial. Dadas las condiciones, el volumen puede cambiar con mayor posibilidad e ando la gente tiene que bajar mas que para subir. En general, las oportunidades modales son limitadas -no hay modos de transporte que compitan- y asumiendo que la gente quiere mantener su trabajo, el volumen no cambiará mucho. Sin embargo, en situaciones en las cuales hay más modos de transporte seguramente el volumen decrecerá como consecuencia de que el nivel de servicio se deteriora. Por ejemplo, suponga que para ir a su trabajo todos los días conduce su auto y que el tráfico es cada día peor. Finalmente, un día se dice: “voy a dejar el auto en el garaje y viajaré en metro y cambia.

Si lo anterior pasara, en el ejemplo del elevador, eventualmente la gente se mudaría a otro edificio arguyendo un pobre nivel de servicio. Esto seria un cambio a mediano o largo plazo.

Como se anotó en el punto 2, la competencia es una posible causa del mejoramiento del nivel de servicio del transporte. En el caso del sistema de elevadores hay poca competencia modal, si los ocupantes del edificio permanecen en él, serán clientes cautivos. Sin embargo, usualmente en los sistemas de transporte tradicionales existe competencia. Por ejemplo, si usted como empresa provee un servicio de carga y los costos aumentan o sí el nivel de servicio se deteriora, su cliente seguramente contratará el servicio con la competencia.

Por otro lado, algunos estudiosos del transporte han señalado los cambios en los sistemas de actividad en respuesta a cambios en los sistemas de transporte, y viceversa. Típicamente, los cambios en la actividad económica se presentan en el largo plazo. Es decir, los cambios de actividad económica en una región provocados por la disposición o existencia de sistemas de transporte se llevan a cabo en el largo plazo.

*Punto 22: El equilibrio entre demanda y oferta para predecir un volumen en un sistema de transporte, es fundamental en la metodología de análisis de una red de transporte.*

En secciones anteriores se ha notado que, por una parte, el nivel de servicio es función del volumen, es decir, entre mayor sea el volumen de un sistema de transporte el nivel de servicio se deteriorará.

Por otra parte, desde la perspectiva de la microeconomía, si el nivel de servicio cambia entonces el volumen atraído también cambia. La demanda se incrementa con el mejoramiento del nivel de servicio y decrece con el deterioro del mismo, lo anterior se muestra en la figura 13. En ella tenemos una función de la demanda que muestra una relación entre nivel de servicio medido en forma unidimensional -utilizando el concepto de utilidad- y el volumen.

La idea fundamental de la figura es la necesidad de un equilibrio entre oferta y demanda, para que el sistema opere en algún volumen de equilibrio ( $V^*$ ) y en algún nivel de servicio de equilibrio ( $LOS^*$ ).

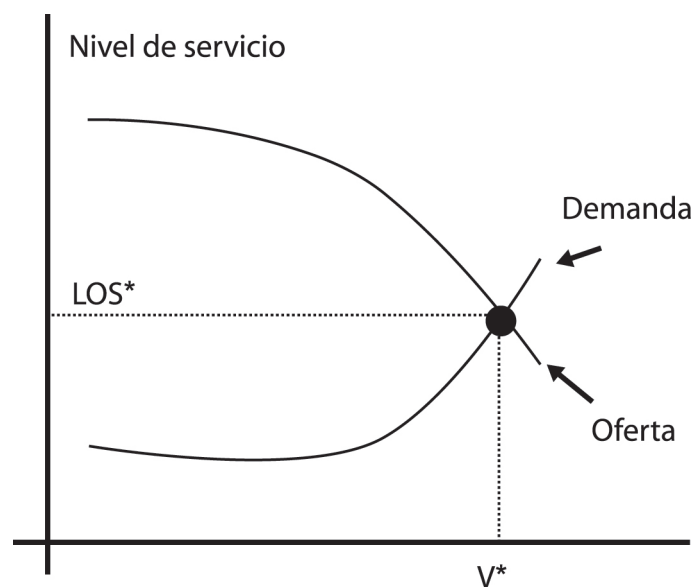


Figura 13

La frase anterior es una forma de pensar útil cuando se trabaja con sistemas de transporte, sin embargo, debe decirse que esta es teórica, Es una estructura para pensar acerca del transporte que puede no ser completamente correcta en detalle, Esta estructura, por ejemplo, no considera que haya diferentes usuarios con diferentes sensibilidades acerca de las -variables del nivel de servicio. También no considera que los que cambios en los sistemas de transporte se dan en diferentes escalas de tiempo (consúltese punto 20),

Además no considera los aspectos de competencia del transporte. Si usted como una empresa de ferrocarriles o de tracto camiones está cambiando su nivel de servicio, su competencia no se va a quedar con los brazos cruzados, Así, por un buen número de razones el modelo de equilibrio oferta demanda no es totalmente correcto. Aún así, es una forma útil de pensar acerca de los sistemas de transporte, En este sentido habría que decir que:

*“Todos los modelos son erróneos, sin embargo, algunos son útiles”*

Cualquier modelo, en algún nivel de abstracción, fallará en capturar algún aspecto del sistema del mundo real. Los modelos son representaciones útiles que permiten comprender un sistema cam-

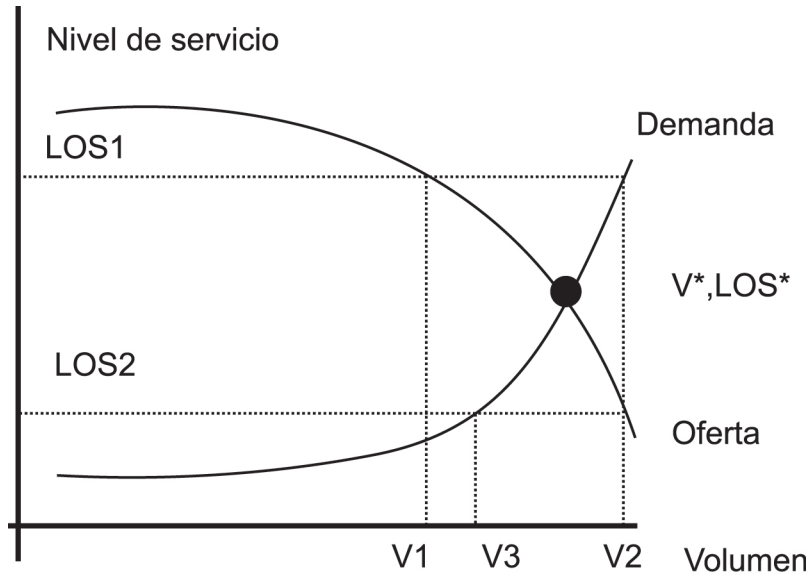
biar planes de operación. etc. Cualquier esfuerzo de modelación - reducción de un sistema a una forma abstracta - es en algún sentido erróneo.

### Mecanismos para lograr el equilibrio oferta demanda.

Ahora se discutirán algunos de los mecanismos inherentes al equilibrio oferta-demanda. En primer término, debe señalarse que frecuentemente, necesitamos usar alguna clase de procedimiento numérico iterativo para encontrar el punto de equilibrio, donde las funciones de oferta y demanda se intercepten. Como primer paso, elegimos un volumen que creemos se acerca al punto de equilibrio; basándose en este volumen se calcula el nivel de servicio, SI el nivel de servicio resulta inconsistente con el volumen elegido inicialmente, entonces deberá cambiarse dicho volumen. Así, un proceso iterativo de esa naturaleza permitirá ir ajustando el volumen y el nivel de servicio de tal manera que se alcance el punto de equilibrio. Véase la Figura 14.

### Cambiando la oferta

Suponga que hemos medido un nivel de servicio y un volumen dados, de esta manera tenemos una relación de demanda y una relación de oferta. Suponga que tenemos un sistema carretero en el cual tenemos que decidir cómo incrementar su infraestructura, es decir, mejorar la oferta. Lo anterior puede ser conceptualizado en la función de oferta, que se mueve de izquierda a derecha. Véase la figura 15.



$V1$  = primer iteración en volumen  
 $LOS1$  implica la demanda de  $V2$   $V2$  implica  $LOS2$   
 $LOS2$  implica  $V3$ , etc., hasta encontrar  $V^*, LOS^*$

Figura 14

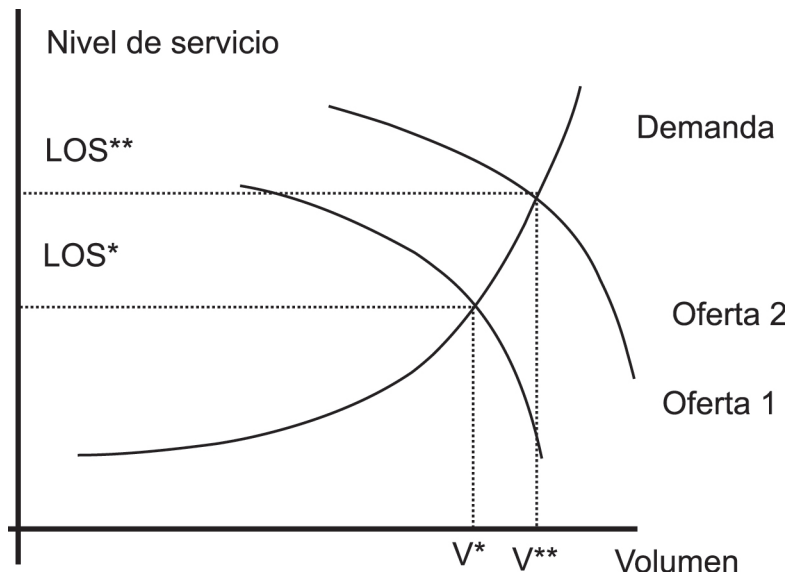


Figura 15

Así, mientras tengamos un equilibrio con un nivel de servicio ( $LOS^*$ ) y un volumen ( $V^*$ ), la oferta del sistema se habrá incrementado. Sin embargo, es de esperarse que después de cierto periodo el sistema se ajustara a un volumen más alto  $V^{**}$  ya un nuevo nivel de servicio ( $LOS^{**}$ ). Lo que observamos es que el volumen crece para ajustarse, por el hecho de que estamos abaratando el transporte carretero, haciéndolo más rápido por el mayor espacio disponible. Pensar de esta manera supone que:

Las personas responden a los incentivos. Si el transporte carretero es más barato, la gente comprará más el servicio.

### Cambio de demanda

Para introducir este lema habría que hacemos preguntas como: ¿de dónde viene y adónde va la gente? y ¿están de paso?

Hay toda clase de explicaciones acerca del origen de la demanda, incluso podemos hablar de demanda latente, es decir, aquella demanda potencial que podría ser real si se combinaran una serie de circunstancias favorables. Por ejemplo, si una persona no ha viajado antes al algún destino turístico no lo ha hecho por diferentes circunstancias –pensemos en la falta de recursos económicos– sin embargo, si el costo de transporte se redujera lo harían. Para ejemplificar un cambio de demanda, suponga el problema de acceso a la terminal de la ciudad de México a través de dos rutas; la primera, es larga y con una carga vehicular variable en horas pico. La segunda (ruta 2), es corta pero muy reducida lo que provoca congestionamientos prácticamente a lo largo del día (véase la figura 16).

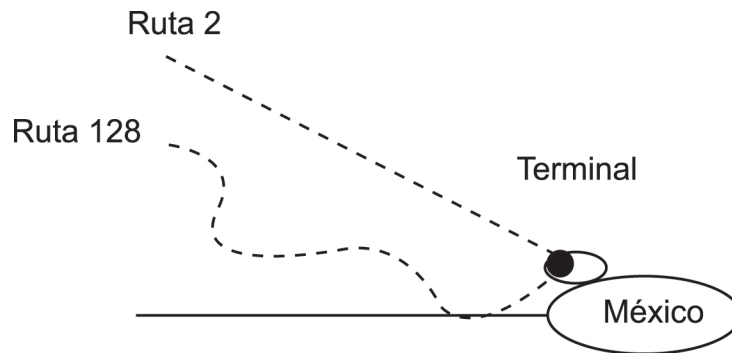


Figura 16

Considerando el planteamiento anterior, ¿qué pasaría si la ruta 2 duplica su capacidad, aumentando el área de vía? Seguramente como resultado de un mejor nivel de servicio, dada la mayor capacidad de la ruta 2, los usuarios preferirán utilizar esta ruta y no la otra. Bajo las circunstancias anteriores, transcurrido algún tiempo, la demanda  $D_1$ , cambiará a una demanda  $D_2$ , esquemáticamente este fenómeno se puede representar con la figura 17.

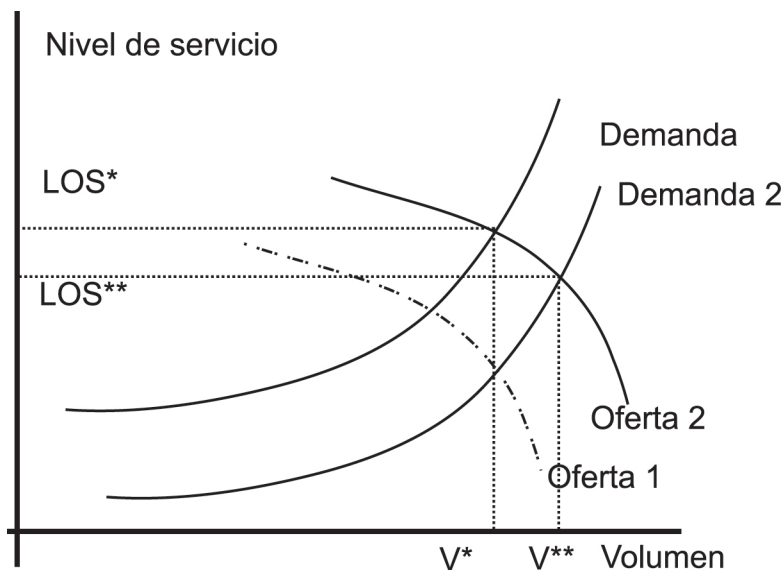


Figura 17

El cambio de demanda se debe, en primera instancia, al aumento de la capacidad de la vía, sin embargo, este puede también estar originado por un incremento de la actividad económica al haber cambiado la infraestructura de la zona. Después del cambio la operación del transporte se realiza con otro punto de equilibrio ( $V^{**}, LOS^{**}$ ), transcurrido algún tiempo la actividad de los sistemas se ajusta a dicho equilibrio. En este sentido, si observamos la figura 18, podemos notar que el nivel de servicio ( $LOS^{***}$ ), consecuencia de la mejora en la infraestructura, aumenta solo marginalmente con respecto a ( $LOS^{**}$ ) antes de la mejora. Esta es la clase de historias que escucharemos una y otra vez en el estudio del transporte: “Teníamos una carretera y estaba congestionada, se amplió y continua todavía así” En este sentido habrá que decir que cuando se adoptan medidas correctivas de incremento de la capacidad, sólo es cuestión de tiempo para que la situación se establezca en un punto de equilibrio con un nivel de servicio y volumen mayor o menor que los anteriores.

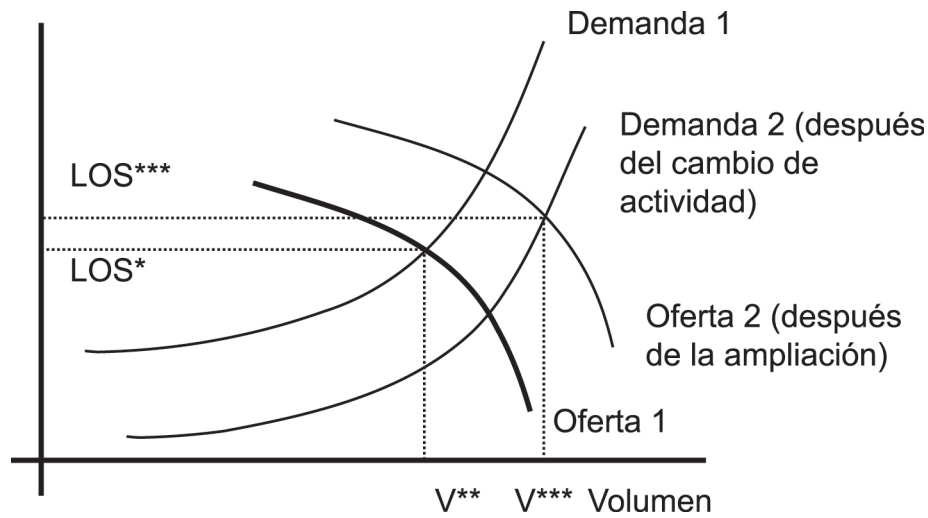


Figura 18

### Incrementar el volumen: ¿mejor o peor?

Considerado los antecedentes, es decir, con un volumen vehicular más alto, después del incremento de la capacidad, los clientes prácticamente reciben el mismo nivel de servicio, la pregunta es: ¿estamos peor o mejor que antes?, ¿qué preferimos?

“Se puede argüir que con un volumen mayor hay mas posibilidades de destrucción ambiental. También se puede argüir que tener un mayor volumen es positivo, indicando mayor nivel de actividad económica y, por 10 tanto, mayor número de empleos”

Estos dos argumentos están enfocados a la cuestión de la sustentabilidad del transporte, que conceptualmente significa hallar un balance entre desarrollo económico e impacto ambiental. No hay respuesta fácil para ~ cuestión de sustentabilidad, ¿cómo lograr el equilibrio ya señalado?

### Incrementos temporales de demanda (horas pico)

En secciones anteriores se señaló la existencia de horas pico diarias: sin embargo, es posible que se presenten periodos pico más prolongados. Por ejemplo, los picos semanales que se presentan particularmente los viernes por la tarde. Además, se presentan picos estacionales como el periodo de navidad, semana santa, vacaciones de verano, etc. En este contexto, ¿cuáles serian algunas de las medidas para evitar estos periodos pico? Retornando al ejemplo del elevador, si las horas pico causaran problemas a los usuarios algunas de las medidas que se podrían tomar son: llegar más temprano o incluso más tarde al trabajo, acordar formas de abordar, etc. Sin embargo, las medidas necesarias para disminuir los efectos negativos de periodos pico deberán ser algo más drásticas.

### El precio como incentivo

Alternativamente a las medidas señaladas anteriormente para aminorar los problemas de las horas pico, es posible usar al precio como un incentivo para urgir a la gente a no formar picos de demanda. Suponga una nueva forma de operación del elevador en la que de no pagar por usarlo se cambia a pagar por su uso. Evitando pensar en los detalles de implementar este nuevo sistema de

operación, que en la práctica son difíciles de superar, suponga que el uso del elevador entre 8:30 y 9:15 por la mañana contara algunos pesos, ¿que podría pasar con esta medida?

### Precio de congestiónamiento

Este término se refiere a la disposición (deseo) o no de las personas para pagar por viajar en los picos de demanda. Medidas basadas en este término, sin embargo, son difíciles de implantar, solo recientemente con la utilización de avances tecnológicos estas puede ser razonablemente posibles, especialmente en las carreteras. Con el advenimiento de los ITS existen tecnologías que permiten la colección y modificación de cuotas carreteras en función de la hora del día U otras condiciones sin necesidad de bajar del auto, Lo anterior abre la posibilidad de implantar esquemas operativos basados en el concepto de precio de congestiónamiento.

El término precio de congestiónamiento implica muchos aspectos, primero, podemos hablar del aspecto de tipo político que implica cambiar el uso de algo que alguna vez fue libre. Otro aspecto a considerar, de nuevo de naturaleza política, es la cuestión de equidad. El sistema logrado a partir de la implantación del precio de congestiónamiento puede ser criticado por otorgar preferencia directa a personas con niveles económicos altos. Sin embargo, habrá que considerar que en general las personas con mayor “flexibilidad en los horarios de viaje son quienes tienen niveles económicos mas altos. Es decir, habrá quienes aunque lo deseen no podrán modificar sus horarios de viaje.

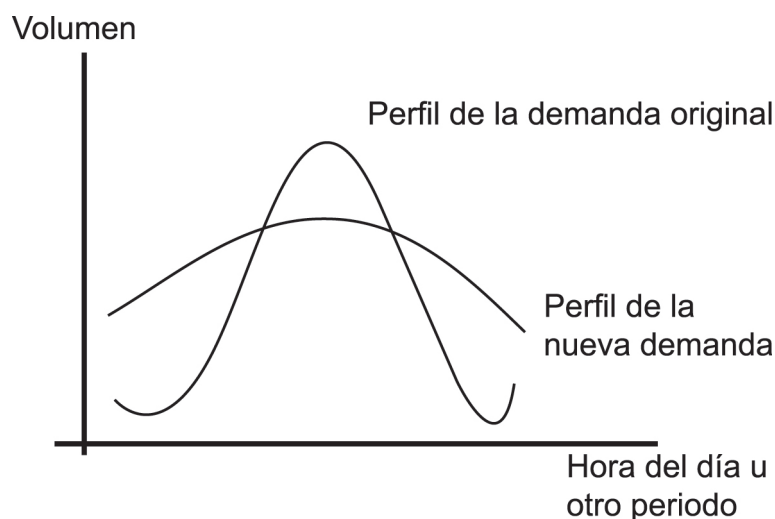


Figura 19

El uso de ITS u otra herramienta para evitar los picos de demanda buscan, como se muestra en la figura 19, menguar la curva de demanda a un nivel aceptable.

*Punto clave 23: La asignación de precios a los servicios de transporte para promover un comportamiento diferente es un mecanismo para reducir las externalidades negativas causadas por los usuarios del transporte sobre otros usuarios y La sociedad en general.*

## Precios reales de los servicios de transporte

En el punto 12 se hizo notar que algunas veces el precio pagado por un servicio de transporte puede no ser consistente con el costo del mismo. Ese costo puede aplicarse no solo a nosotros como usuarios sino además a terceros. Por ejemplo, cuando se elige viajar en hora pico, en forma directa se retrasa el viaje de otros viajeros tras de nosotros. Cuando conducimos, imponemos costos a la sociedad- por ejemplo, debido a la degradación ambiental- costo por el cual no pagamos directamente. Los economistas utilizan el término “externalidades negativas” para llamar a esos efectos. Nuestra decisión de usar el sistema crea costos para otros y puede conducir a la subutilización de recursos desde una perspectiva social. Cargar un precio por el congestionamiento es una forma de reducir las externalidades negativas.

Para tener más claro el concepto de externalidades a continuación se define formalmente y se dan ejemplos de ellas.

Una externalidad es un efecto indirecto de la realización de una actividad sobre otras personas o entidades y al que puede asociársele un costo o beneficio económico pero no existe ningún tipo de compensación o pago.

Algunas externalidades negativas son:

- 1. Contaminación del Aire:** prácticamente todos los modos de transporte provocan algún tipo de contaminación del aire que repercute en la salud de las personas. Gastos médicos y, en general una baja en la calidad de vida de la población, son costos indirectos del transporte.
- 2. Contaminación Acústica:** el tránsito de vehículos provoca ruido para quienes se habitan en la cercanía de las vías, los efectos se manifiestan, por ejemplo, en problemas de concentración, baja de la productividad en las empresas o problemas médicos como el estrés.
- 3. Vibraciones:** los vehículos al pasar hacen vibrar las estructuras como los edificios, disminuyendo su vida útil.
- 4. Intrusión Visual:** estructuras como el metro elevado de la línea 5 o pasos sobre-nivel representan obstáculos a la vista que pueden significar pérdidas de beneficios que antes se poseían, como por ejemplo: tener vista a la cordillera. Este tipo de efectos puede resultar en pérdida del valor de la propiedad.
- 5. Segregación:** las autopistas o vías férreas segregadas tienden a dividir los espacios por donde pasan. Atravesarlas se vuelve peligroso, lo que implica someter a quienes viven en los alrededores de estas infraestructuras a mayores tiempos de desplazamiento o a un mayor riesgo personal.
- 6. Congestionamiento:** el congestionamiento o tráfico es una externalidad. El desplazamiento se ve disminuido por el de otros, provocándose mayores tiempos de viaje y de acceso.

*Punto clave 24: Los desequilibrios geográficos y temporales del flujo son característicos de los sistemas de transporte.*

Una característica de los sistemas de transporte es que existen flujos desequilibrados. Por las mañanas todas las personas eligen un destino y por la tarde regresan al punto origen. En el transporte de carga los desequilibrios también se presentan cuando de un punto origen parte un contenedor que una vez llegando a su origen retorna vacío.

Los desequilibrios en la carga provocan que las empresas (en muchos casos los llamados hombres camión) busquen regresar con carga, lo cual implica ciertas complicaciones.

Por supuesto hay diferencias entre los desequilibrios en el transporte de pasajeros y el transporte de carga. El flujo de pasajeros presenta mayores desequilibrios en función del tiempo, por ejemplo, las horas pico y la demanda de los vuelos estacionales. Este último ejemplo implica un desequilibrio geográfico porque en general las personas, sobretodo en invierno, realizan viajes de zonas frías a zonas cálidas, regresando a las zonas frías después de cierto periodo. El desequilibrio obviamente es solo en un sentido: sería difícil pensar en que el mayor número de viajes se realizara de zonas cálidas a zonas frías, aunque hay excepciones.

Por su parte en el transporte de carga los desequilibrios se presentan en diferentes formas {no dependen del tiempo) y en diferentes puntos del proceso. Si se embarca maíz de un lugar a otro, el maíz no retorna al punto de origen 6 meses después de haber sido comido. En la industria del ferrocarril en Estados Unidos alrededor del 42% de contenedores de carga están vacíos: lo que refleja el desequilibrio en el flujo y la necesidad de reposición de carga.

## SECCIÓN VII

### PUNTOS CLAVE 25-30

*Punto clave 25: El comportamiento y la capacidad de una red de transporte, derivados de las capacidades de los nodos y enlaces y del reajuste de los flujos en las rutas redundantes son elementos importantes en el análisis de sistemas de transporte.*

Este punto se refiere a la modelación del transporte como una red y al comportamiento de esa red de transporte. Pensar en el transporte como en una red es una forma muy conveniente para caracterizarlo y modelado. Los elementos más importantes de las redes son los enlaces y los nodos. De la capacidad de los nodos y los enlaces depende en gran medida el comportamiento de la red o conjunto de nodos y enlaces (véase la figura 20).

Si consideramos al sistema de elevadores como una red podemos decir que este sistema es muy simple, el elevador solo baja y sube; aunque hay redundancia en la red esta no puede ser comparable a la existente en una red aérea, en una red carretera o en alguna otra red más compleja.

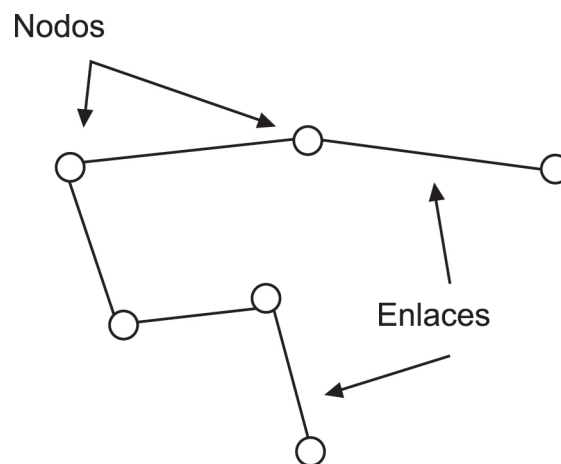


Figura 20

Considerando el arreglo de la red simple en el cual existen tres elevadores, de los cuales el primero presta servicio del piso 1 al 20, el segundo del 20 al 40 y el tercero del 40 al 60. Ahora suponga que se instala una nueva oficina de negocios en el piso 18 - pudiéndose considerar nodo 18 -la que genera gran demanda en el primer tramo de la red, ¿Qué clase de comportamiento de la red podríamos observar?, ¿qué clase de diferencias en comportamiento pueden surgir antes y después de la ubicación de la oficina de negocios?, ¿Cuáles serían las modificaciones en el comportamiento de los usuarios?

Si alguien se dirige al piso 18 puede llegar al piso 20 y posteriormente bajar dos pisos por las escaleras. Este es solo alguno de los ajustes en uso de la red. Si los ajustes fueran realmente substanciales seguramente se afectarían otras partes de la red ya sea nodos o enlaces.

Con la modelación de un sistema de transporte como una red podemos predecir, aunque con ciertos problemas, cómo los cambios en el patrón de demanda en el sistema de elevadores pueden cambiar el comportamiento de la red substancialmente. En redes de transporte complejas frecuentemente hay enlaces conflictivos o nodos llamados de estrangulación. Una vialidad principal, por

ser un enlace al que ingresa y del que egresa un gran volumen de tránsito, puede considerarse un enlace conflictivo dado que si ocurre un accidente en ese enlace, esto puede afectar a toda la red de transporte.

El cambio de modo de conducción de un vehículo puede cambiar el comportamiento de la red. Por ejemplo, suponga que usted maneja como usualmente lo hace y escucha por la radio que ha ocurrido un accidente en un punto no lejos de su posición, esto frecuentemente ocasionará que disminuya la velocidad y consecuentemente provocara que la velocidad de automovilistas detrás de usted disminuya, esto pasa incluso si el accidente no tiene conexión con la ruta en la que se desplaza. En este caso el modo de conducción afecta específica e intrínsecamente a un nodo de la red. Bajo las circunstancias mencionadas el efecto más común es el cambio de rutas. Dada la sensibilidad del nivel de servicio a los cambios de volumen cuando este se acerca a la capacidad (horas pico) la elección de nuevas rutas puede impactar en los conductores que incluso podrían elegir rutas muy lejanas al lugar del accidente. Lo anterior, puede nuevamente afectar el comportamiento de la red de transporte. Con base en los párrafos anteriores podemos señalar que el comportamiento de la red es importante y nosotros debemos estar interesados en predecir cómo cambian los flujos cuando las redes cambian. Este último comentario está conectado con la planeación de las redes, donde deberemos observar los cambios de la demanda a partir de ~ ampliación de la red, mas nodos o mas enlaces. Cuando se construyen enlaces (avenidas) con mayor capacidad esto no asegura necesariamente que la velocidad del flujo vehicular mejore, para lograrlo, además, deberá planearse la distribución de la demanda en los nodos inicio y termino del enlace construido. Véase figura 21.

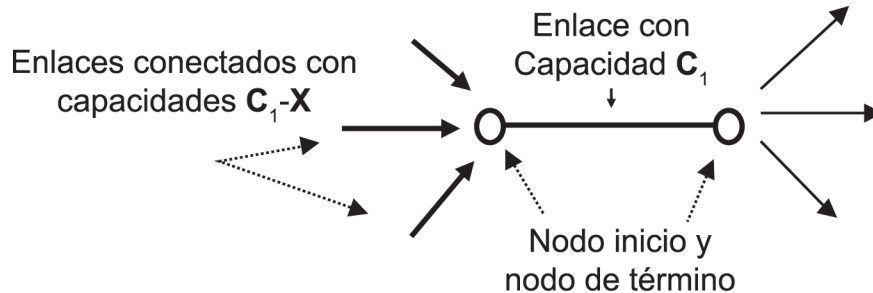


Figura 21.

Cuando en los puntos anteriores se habló de capacidad en los sistemas de transporte específicamente se habló de la capacidad de los nodos y los enlaces.

*Punto clave 26: La estocasticidad o aleatoriedad - en oferta y demanda - es una característica de los sistemas de transporte.*

Este punto se relaciona con el concepto de estocasticidad en el desempeño de los sistemas de "transporte, es decir, se refiere a los factores aleatorios que afectan la forma de operar y responder a los estímulos de un sistema de transporte. Por ejemplo, un bache es una circunstancia que se presenta aleatoriamente, que puede ocasionar que la capacidad de una vía se deteriore. Seguramente los conductores trataran de evitarlo, lo cual ocasionara ciertos percances que afecten la capacidad. Otros factores aleatorios a considerar están relacionados con el clima, lluvia, niebla, nieve, etc.

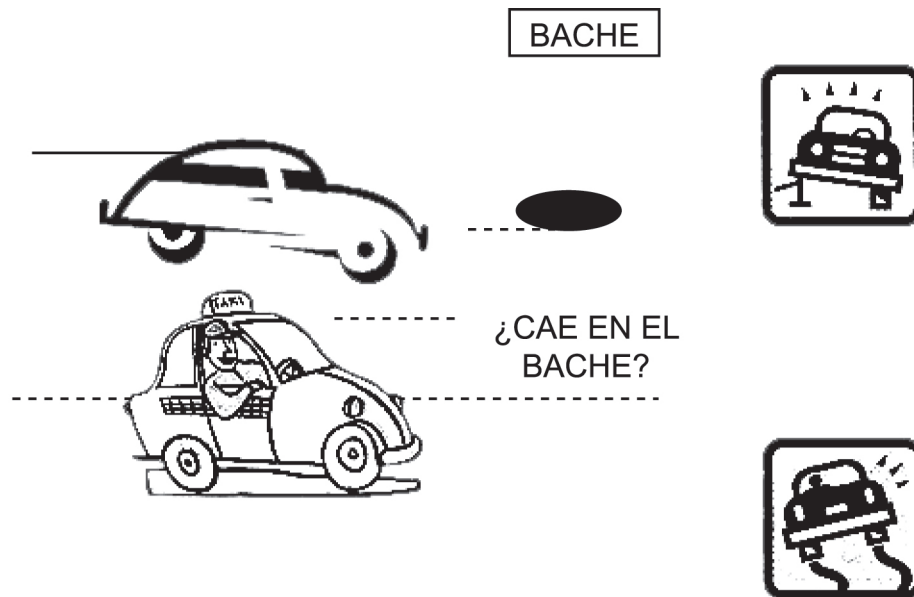


Figura 22

El comportamiento de las personas es impredecible –aleatorio– podemos tener diferentes funciones de utilidad y tener diferentes modos de elección. Los precios de los combustibles y las condiciones, económicas son predecibles hasta cierto punto y afectan los flujos de tránsito, en forma similar que lo hacen los accidentes o el comportamiento de los conductores de autobuses.

Considerando los efectos aleatorios mencionados, es posible hacer una distinción entre congestionamientos recurrentes y no recurrentes o sistemáticos y no sistemáticos o aleatorios. Por congestionamiento recurrente se entiende horas pico o de mayor demanda, por ejemplo, el tráfico vehicular urbano es deficiente cada día –particularmente de 7 a 9 de la mañana– porque el número de vehículos excede la capacidad de la vía. Por otra parte, el congestionamiento no recurrente tiene una naturaleza aleatoria, por ejemplo, dada como consecuencia de los accidentes. Este tipo de congestionamiento es por definición muy difícil, sino complejo, de predecir. En general su impacto es mucho en términos de retrasos. Sin embargo, aún tiene implicaciones positivas relacionadas con el desarrollo de la tecnología generada para su solución, debemos mencionar, por ejemplo la utilización de ITS, el cual provee información en tiempo real acerca del sistema lo que lleva a tomar decisiones rápidas para reducir el impacto del congestionamiento no recurrente.

¿Qué se puede decir acerca del congestionamiento en otros modos de transporte?

En estos casos las características del congestionamiento varían un poco. El tránsito urbano, en general, se complica en horas pico- En el caso del transporte aéreo, los niveles de congestionamiento dependen del número de elementos factores que se estén examinando. Hay variedad de formas en las que el sistema aéreo puede ser congestionado. Puede estar congestionado si usted tiene problema para reservar un vuelo o puede estar congestionado si la habilidad para operar las pistas de aterrizaje evita la salida de vuelos en las horas pico.

Considerando los antecedentes, ahora habrá que señalar la diferencia entre “un pico de demanda” y “estocasticidad” y además, entre el congestionamiento que generan estos dos fenómenos,

Los “picos de demanda” son congestionamientos sistemáticos, estos pueden ocurrir cada día de la semana, por ejemplo, cada viernes de la semana. De un congestionamiento sistemático sabemos cuando alcanzara su pico máximo. La estocasticidad, por otra parte, se refiere a la variación del promedio del valor estimado de la demanda de transporte. La diferencia entre pico de demanda y estocasticidad se representa en la siguiente figura:

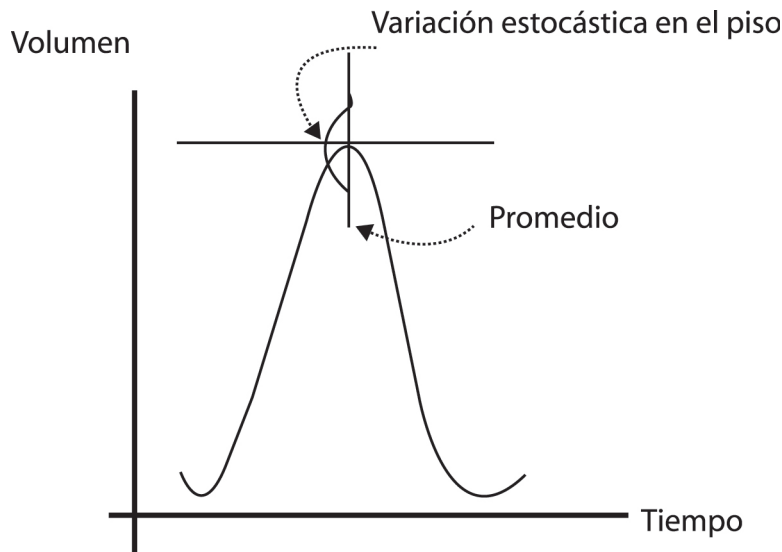


Figura 23

La figura muestra que aunque el tráfico es una variable aleatoria los picos de demanda son sistemáticos.

*Punto clave 27: La relación entre transporte, desarrollo económico y ubicación de actividades –el transporte y su conexión con el uso del suelo– es fundamental.*

Uno de los postulados más importantes de la teoría económica señala que la disposición y abaratamiento del transporte permiten la concentración de la producción en zonas geográficas donde esta puede ser eficientemente desarrollada. En el marco del transporte de carga este postulado es de suma importancia.

Suponga la existencia de dos ciudades A y S, la ciudad A puede producir algún bien particular con un costo bajo –supongamos que la energía eléctrica para su producción es barata en esa zona– esa es su ventaja competitiva, Ahora, supongamos que la ciudad B produce bienes agrícolas eficientes dadas las características de su suelo. Si el costo de transportación entre las ciudades A y B es caro, seguramente las dos ciudades producirán bienes de autoconsumo, es decir, producirán para satisfacer su propia demanda. En cambio, si existen servicios de transporte eficientes y baratos entre las dos ciudades el intercambio de mercancía será mucho mayor, y se impulsará la producción, que será no solo de autoconsumo sino también de exportación. De esta manera se satisfacen las demandas no solo considerando los costos de transportación sino la vocación productiva de las ciudades. Al fenómeno anterior se llama concentración económica, Véase la figura siguiente.



Figura 24

Podemos observar que la concentración de la actividad económica en A y B como economías de escala, está impulsada por el desarrollo de los servicios de transporte, esto en principio, puede generar beneficios económicos para A y B, Y con un aumento del volumen de transportación, puede generar una economía de escala en el transporte. Es decir, entre mayor volumen de carga se transporta, el precio unitario por bien transportado será menor.

### **Cambios de actividad base relacionados con el transporte**

Las interacciones entre los flujos de una red de transporte y la actividad base de una zona geográfica es de suma importancia. La inversión en transporte puede tener un impacto positivo en la actividad económica y la calidad de vida de una población. Ahora bien, esto no en todos los casos funciona.

En este mismo sentido ¿qué se puede decir con relación a las jornadas laborales y los patrones urbanos de vivienda?

Claramente, el desarrollo de la infraestructura de transporte y [a accesibilidad personal resultante afecta la decisión acerca de dónde vivir. Los urbanistas señalan que la regla de los 45 minutos ha sido constante a lo largo de la historia de la humanidad. Si se observa en mapas de ciudades antiguas donde el modo de transporte más importante era “caminar” la gente tendía a establecerse en un patrón tal que le tomara alrededor de 45 minutos trasladarse desde donde vivía al lugar donde ganaba o recogía su sustento diario. Cruzar una ciudad antigua de extremo a extremo toma alrededor de 45 minutos a 1 hora.

A pesar de que la tecnología de transporte ha mejorado y las ciudades han crecido la regla de los 45 minutos ha permanecido relativamente constante. En Japón, por ejemplo, los trenes Shinkansen que operan a 150-175 mph, trasladan a personas que rutinariamente viajan alrededor de 100 millas, lo que les lleva en promedio 45 minutos.

### **Midiendo el desempeño de los Sistemas de Transporte**

**Punto clave 28: Las medidas de desempeño definen las operaciones y las inversiones en los sistemas de transporte.**

El presente punto clave se relaciona con las medidas de desempeño de los sistemas de transporte. La pregunta fundamental es: cómo podemos medir la calidad del desempeño de un sistema de transporte. Esto aunque puede sonar simple, en la práctica no es trivial.

## **¿Qué perciben los clientes?**

Hay algunos conceptos a considerar en este apartado con relación a la medición del desempeño. El primero de ellos es que debemos relacionar las medidas de desempeño con el nivel de servicio del sistema, tal como lo perciben los clientes: recordando que las medidas de desempeño son multidimensionales. Por ejemplo, los clientes no solo valoran el nivel de servicio Co.1 base en el tiempo de viaje, además, utilizan el tiempo de espera, el tiempo de acceso, la comodidad, etc.

Las formas de medir el desempeño deben relacionarse a la forma en que el cliente toma sus decisiones acerca de si usa uno u otro modo de transporte.

## **Medidas de desempeño y costo**

Un segundo concepto es que las medidas de desempeño tienen, de alguna forma, relación con los costos de operación y las utilidades derivadas de las operaciones de esos sistemas. Esto aplica a organizaciones con o sin fines de lucro. En cada caso, las medidas financieras usualmente utilizadas miden la eficiencia de los servicios de transporte y la atracción que tienen los servicios de transporte en el mercado. El costo de cierta manera refleja qué tan eficientemente son los servicios de transporte, la utilidad es una medida acerca de que tan atractivo es el sistema para los clientes.

## **Sistema vs componente de desempeño**

Un tercer concepto: reconoce la diferencia entre el desempeño total del sistema y el desempeño de uno o varios de sus componentes. Usualmente los clientes perciben el desempeño total de sistema, en un viaje el cliente observa, como indicadores de desempeño, el tiempo de viaje, la confiabilidad en el servicio, medidas que los afectan directamente. Sin embargo, el número de veces que el equipaje es manejado en el viaje afecta el desempeño, pero el viajero no se preocupa directamente por ello. Mientras el cliente observa el desempeño total, las diferentes actividades operativas se consideran solamente como componentes. Es muy difícil manejar al sistema en su totalidad, en vez de eso debemos manejar componentes, por ejemplo, terminales de carga, vehículos de fletes, etc. La esperanza es que, si se trabaja bien con los componentes, el sistema total operará bien. Usualmente es necesario que la operación de los componentes sea eficiente para que el sistema sea competente, pero frecuentemente no es una condición suficiente.

## **Medidas de desempeño y comportamiento**

Habría que reconocer que la forma en la cual se mide el desempeño de los componentes tendrá un efecto en cómo la persona que opera el componente en cuestión toma decisiones. Por ejemplo, considere al conductor de un autobús cuyo desempeño se mide por su apego al itinerario, de acuerdo con esto el comportamiento del conductor tendrá ciertos rasgos particulares. Ahora suponga que decide medir su desempeño considerando las ganancias recolectadas en el recorrido, estas nuevas condiciones seguramente modificarán el comportamiento de los conductores. Ahora bien, el cambio de medidas de desempeño puede provocar algunas consecuencias negativas, por ejemplo, para cumplir con los tiempos de recorrido el conductor quizá no pare en muchas de las paradas establecidas. En el caso de que el desempeño de un conductor sea medido por las ganan-

cias por recorrido, éste tratará captar un mayor número de pasajeros con todo lo que conlleva este comportamiento.

Así, podemos utilizar diferentes medidas de desempeño a partir de las cuales debemos esperar diferentes comportamientos, entre estas medidas están: el apego a un itinerario, el número de pasajeros; los kilómetros recorridos, etc.

Los párrafos anteriores hacen recapitular acerca del siguiente principio: u/as personas y las organizaciones responden a incentivos”

## **Desempeño de una red**

La cuestión sobre medidas de desempeño en los sistemas de transporte se complica por el hecho de que los operadores de transporte tienen que operar dentro del contexto de una red total sobre la cual se tiene un control modesto o ningún control. Vamos a suponer que tenemos un sistema de incentivos para el operador de una terminal férrea, también suponga que los trenes llegan tarde a la terminal porque en la terminal anterior fueron despachados tarde, sobre lo cual el operador de la última terminal no tiene control. ¿Cómo medir en forma justa el desempeño del operador? Esta no es una pregunta fácil, se ha trabajado en ello por mucho tiempo; cómo medir el desempeño de algo cuando sobre su propio desempeño no tiene control.

## **Balance entre decisiones centralizadas y descentralizadas.**

*Punto clave 29: Encontrar balance en el control centralizado con decisiones tomadas por administradores de los componentes del sistema (por ejemplo, en una terminal) es un importante reto de operación.*

Una de las tensiones importantes en el control de una red de transporte y en el desarrollo de medidas de desempeño se presenta entre la gente que piensa que centralizar las operaciones puede funcionar para optimizar el proceso integralmente y aquellas que creen que para ello es necesario el conocimiento en tiempo real de lo que pasa en el sistema, Si el control centralizado realmente cuenta con toda la información del sistema en tiempo real, en principio, la optimización global es factible. Si embargo, en la práctica es imposible tener control central aún con, la información en tiempo real.

*Punto clave 30: Una visión sistémica (integral) de los diferentes componentes de los sistemas de transporte es básica en su diseño.*

Este punto final, al reconsiderar componentes como infraestructura, vehículos, sistemas de control, etc., señala que dichos componentes deben operar eficientemente como un sistema (totalidad). Pa a lograr lo anterior, en las etapas de diseño y operación de éstos deben considerarse sus interacciones.

En el ejemplo del elevador, éste debe estar diseñado apropiadamente en términos de espacio. En el caso de los contenedores de un tren, éstos deben estar diseñados de tal manera que su manejo y transporte se realice eficientemente, Es decir, deben se considerados todos los componentes del sistema para lograr una operación eficiente.

## **Bibliografía**

1. Hay, William W. (1990), Ingeniería del transporte, Limusa.
2. Juárez del Ángel. Reyes (2003) Externalidades en el transporte en México. Memorias del 1er Congreso Internacional de Ingeniería Vial, Cd. de México, Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres. A.C.
3. Molinero M., A. & Sánchez A., I. (1996) Transporte público: planeación, diseño, operación y administración, Quinta del Agua Ediciones, México.
4. Sussman. Joseph (2000) Introducción to transportatian systems. Artech House.

# TREINTA PUNTOS CLAVE PARA ENTENDER LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE

El propósito de estas notas es introducir al lector en el campo de los sistemas de transporte. Sin embargo, particularmente están dirigidas a aquellos estudiantes que inician una carrera relacionada con transporte.

Las notas están enfocadas hacia el análisis de las características de los sistemas de transporte y la definición de los componentes principales de dichos sistemas. A partir de un ejemplo simple, se establecen treinta puntos clave de los sistemas de transporte, esenciales para comprender su funcionamiento.

El enfoque de estas notas es general y relevante para entender cualquier modo de transporte en cualquier contexto geográfico. Específicamente, presento una estructura básica con el objeto de reflexionar acerca del transporte como sistema.

Biblioteca  
**BE**  
del  
Estudiante